



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID BIOMASS-BIOGAS* (Studi Kasus: PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh)

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi
Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



OLEH :

ALVIN NAVIES

11755102261

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2021

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID BIOMASS-BIOGAS* (Studi Kasus: PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh)

TUGAS AKHIR

Oleh:

ALVIN NAVIES
11755102261

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 2 Juli 2021

Ketua Program Studi

Digitally
signed by Ewi
Ismaredah
Tanggal:
2021.07.24
13:27:46 WIB

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing

Digitally signed
by Marhama
Jelita
Date: 2021.07.19
16:48:50 +07'00'

Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc.
NIK. 130517054



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau serta terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi keputusan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggunaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



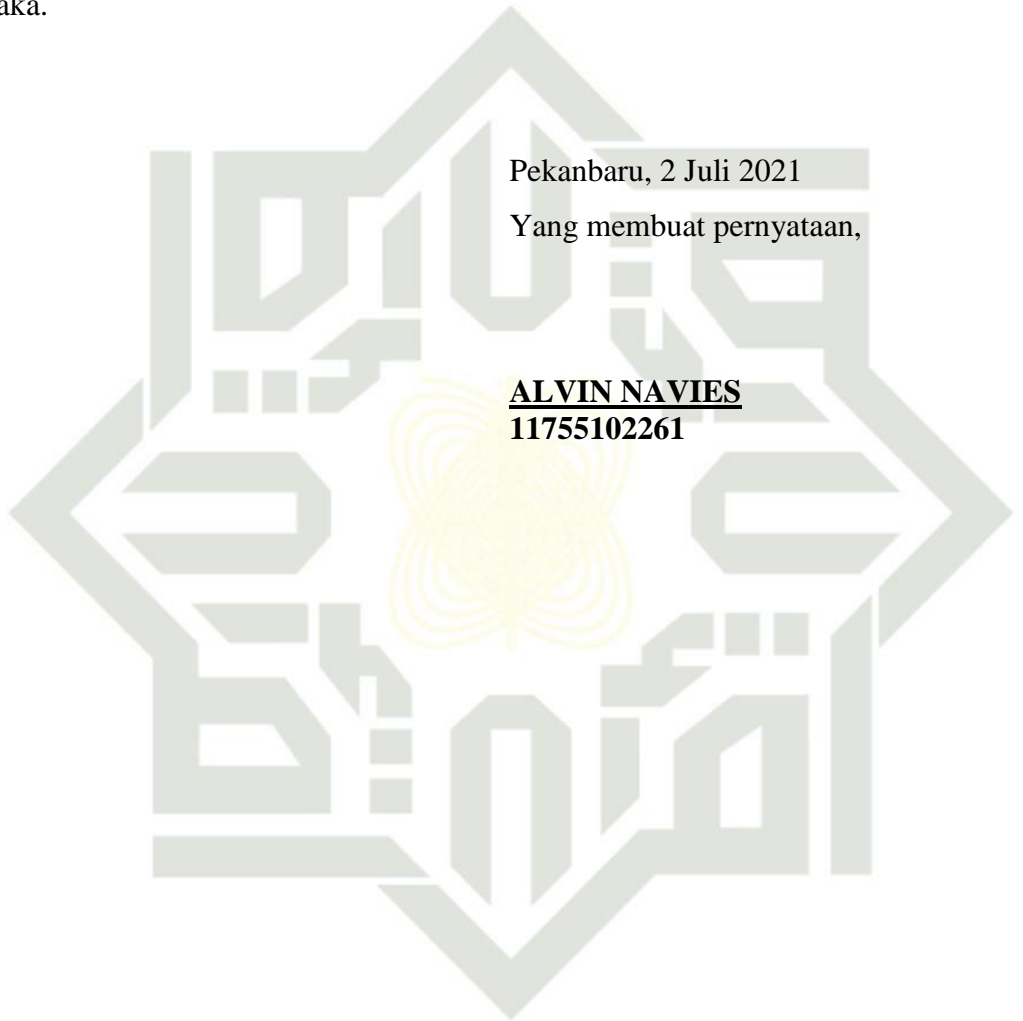
LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, 2 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,

ALVIN NAVIES
11755102261



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil 'alamin

Bersyukur hamba hanya kepada-Mu Ya Allah

Yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Mu kepada hamba

Sujud syukur hanya kepada-Mu yang melimpahkan karunia ini

semoga ini akan menjadi karunia yang penuh Ridho-Mu dalam hidup hamba dan keluarga yang hamba cintai...

Catatan ini kupersembahkan teruntuk Ayahanda dan Ibunda tercinta

Ayah... Ibu...

Luar biasa kesabaran dan cintamu padaku

Luar biasa pengorbanan padaku... Luar biasa semua yang telah kau lakukan untukku

Betapa beruntungnya aku lahir darimu

Dibesarkan dan dijaga olehmu.. Jika bukan karenamu

tak akan bisa aku seperti ini Berdiri tegar sampai hari ini

Ayah.. Ibu..

Ketika badan terasa penat, jalan terasa buntu, hanya kasih sayang dan pengorbananmu yang membuat ananda bangkit lagi

Ananda tak ingin lagi melihat kekecawaan dan kesedihan di wajahmu

Semua ini untukmu, Ananda tidak akan bisa mencapainya tanpa sokonganmu

Sekalipun kukumpulkan banyak uang, tak akan terbayar jasamu

Sekalipun kukorbankan seluruh kehidupanku, tak tertandingi dengan jasamu

Sekalipun seluruh dunia kuserahkan dibawah kakimu, tak tersaingi cintamu

tak akan sebanding apa yang bisa kuberikan dengan apa yang telah kau berikan

Ayahanda tercinta..

Jika suatu saat nanti engkau lelah, bersandarlah dibahuku

Jika suatu saat nanti langkah mu semakin lemah, Melangkahlah disampingku

dan pegang erat tanganku.. Jika suatu saat nanti engkau ingin menangis

peluklah erat tubuhku.. Jika suatu saat engkau bosan berceritalah bersamaku

Ibunda tercinta..

Tiada hal terindah dalam hidupku Ketika aku mempersembahkan

Sebuah kado kecil untukmu kado terindah yang engkau rajut sendiri dengan benang emas

sewaktu aku masih dalam kandunganmu

sampai aku mengerti arti hidupku selama ini indah jika kujalani bersamamu

Dan insya Allah engkau pasti bahagia jika melihat kesuksesan anak bungsumu ini

Ya Allah..

Terima kasih untuk ayah dan ibu yang telah Kau beri

Terimakasih juga ku ucapkan untuk orang-orang yang selalu membantu dalam suka dukaku



ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID BIOMASS-BIOGAS* (Studi Kasus: PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh)

ALVIN NAVIES
11755102261

Tanggal Sidang : 2 Juli 2021
Tanggal Wisuda :

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
JL. HR. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Permintaan energi listrik pabrik kelapa sawit meningkat seiring bertambahnya produksi tandan buah segar. Kondisi ini memaksakan pabrik kelapa sawit Sei Galuh mengoperasikan genset diesel untuk memenuhi permintaan listrik. Pabrik kelapa sawit Sei Galuh dengan potensi biogas dari POME sebesar 4,190.1 m³/hari ini berupaya dalam peningkatan produksi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Biomass-Biogas* dari aspek teknis dan ekonomi di PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *hybrid parallel* dengan sistem jaringan *off grid* menggunakan *software* HOMER Pro 3.14.4. Aspek teknis menunjukkan sistem *hybrid* memproduksi listrik 7,694,695 kWh/tahun yang mampu memenuhi permintaan listrik secara kontinyu selama 20 tahun dengan kontribusi *steam turbine* 37.1 % dan kontribusi genset biogas 62.9 %. Pembangkit listrik *hybrid* ini mengurangi emisi CO₂ sebanyak 22,047.52 ton/tahun. Aspek ekonomi menunjukkan *Levelized Cost Of Energy* dari sistem *hybrid* sebesar Rp.502.53, *Net Present Value* positif sebesar Rp.70,861,661,291, *Payback Period* selama 6 tahun 1 bulan, dan *Internal Rate of Return* sebesar 17.01%. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi pada penelitian ini, pembangkit listrik tenaga *hybrid* ini layak dari aspek teknis dan ekonomi.

Kata Kunci: *Hybrid*, HOMER Pro, *Biomass-Biogas*, POME.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF BIOMASS-BIOGAS HYBRID POWER PLANT (Case Study: PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh)

ALVIN NAVIES
11755102261

Date of Final Exam : 2nd of July 2021
Date of Graduation Ceremony :

Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas Street No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

The demand of palm oil mill electricity increases along with the increase of fresh fruit bunch production. This condition forces Sei Galuh palm oil mill to operate the diesel genset in meeting electricity demand. The Sei Galuh palm oil mill with biogas potential from POME of 4,190.1 m³/day strives to increase electricity production. This study aims to analyse the Biomass-Biogas Hybrid Power Plant from the technical and economic aspects in PT. Perkebunan Nusantara V Sei Galuh. The method used in this study is parallel hybrid with off grid system using HOMER Pro 3.14.4 software. The technical aspect showed that the hybrid system produces electricity of 7,694,695 kWh/year which is able to meet electricity demand continuously with a steam turbine contribution of 37.1 % and with a biogas genset contribution of 62.9 %. This hybrid power plant reduces CO₂ emissions by 22,047.52 tons/year. The economic aspect showed the Levelized Cost Of Energy of the hybrid system is Rp. 502.53, Net Present Value is positive Rp. 70,861,661,291, Payback Period is 6 years and 1 month, and Internal Rate of Return is 17.01%. Based on the results of the technical and economic analysis in this study, this hybrid power plant is feasible from the technical and economic aspects.

Keywords: Hybrid, HOMER Pro, Biomass-Biogas, POME.

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillah hirobbil 'alamin, segala puji dan syukur kepada Allah *subhana wa 'ala* Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang, dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam tidak lupa penulis tuturkan kepada junjungan Nabi Muhammad *shollallahu 'alaihi wassallam* yang mana telah membawa umat manusia menuju jalan yang benar. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak sedikit hambatan yang penulis hadapi, baik itu waktu pencarian data, proses pembuatan Tugas Akhir yang penulis jalani. Namun tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Teristimewa kedua orangtua penulis Yurisyaf dan *almarhummah* Megawati, Reski Amelia, dan abangku Vicky Azland, serta keluarga besar yang telah mendoakan dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof. Dr. Khairunnas Rajab, M.Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
2. Bapak Dr. Hartono, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Mulyono, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Ibu Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dengan ikhlas untuk membimbing penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
6. Ibu Susi Afriani, S.T., M.T. dan Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran selama seminar proposal dan sidang tugas akhir.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Bapak Syafrudin selaku staf administrasi SDM di Kantor Pusat PT Perkebunan Nusantara V yang telah memberikan kesempatan melakukan Tugas Akhir di PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh.

Bapak Rizalmi Fitrah selaku Kepala Sub Bagian Koorperasi dan Manajemen Kerja PT. Perkebunan Nusantara V, Bapak M. Fadhailul Anam selaku Manajer PKS SGH, Bapak Fahmi Hidayat selaku Asisten Teknik PKS SGH, Bapak Edi Suprayetno selaku Kepala Bagian Teknik PKS SGH, Bapak Sugiyatno selaku Asisten Pengendalian Mutu PKS SGH, dan Bapak-bapak karyawan PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh yang telah membantu memberikan data primer dan data sekunder untuk penyelesaian Tugas Akhir.

9. Abang sepupu Riko Kurniawan, S.T. dan Bang Raja Reski Eka Putra, S.T. selaku Alumni Teknik Elektro angkatan 2016 yang telah membantu menambah ilmu pengetahuan perkuliahan Teknik Elektro dan mengarahkan penulis dalam topik sistem *hybrid*.
10. Seluruh teman-teman seperjuangan program studi Teknik Elektro angkatan 2017, semoga kita istiqomah dengan tujuan dan cita-cita kita.
11. Seluruh pihak yang telah banyak membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat diharapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Pekanbaru, 2 Juli 2021

UIN SUSKA RIAU

ALVIN NAVIES

11755102261



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-6
1.3 Tujuan Penelitian	I-6
1.4 Batasan Penelitian	I-7
1.5 Manfaat Penelitian	I-7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori	II-3
2.2.1 Pengolahan Kelapa Sawit Di PKS	II-3
2.2.1.1 Produk Samping Hasil Pengolahan Kelapa Sawit	II-5
2.2.2 Proses <i>Anaerobic Digestion</i>	II-6
2.2.3 <i>Forecasting</i> Data Menggunakan Metode <i>Time Series</i> Minitab	II-7
2.2.4 Potensi Gas Metana Dari Limbah Cair POME	II-13
2.2.5 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i>	II-13
2.2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	II-14
2.2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)	II-14

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.7.1	<i>Digester</i>	II-15
2.2.7.2	<i>Biogas Purifier</i>	II-18
2.2.7.3	<i>Dehumidifier</i>	II-19
2.2.7.4	<i>Gas Flare</i>	II-20
2.2.7.5	<i>Gas Engine</i>	II-21
2.2.8	Emisi Gas Rumah Kaca.....	II-22
2.2.8.1	Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.....	II-23
2.2.9	<i>Carbon Credit</i>	II-24
2.2.9.1	Penjualan <i>Carbon Credit</i>	II-24
2.2.10	Aspek Ekonomi <i>Hybrid Power Plant</i>	II-25
2.2.10.1	Pembiayaan	II-25
2.2.10.2	Kelayakan Investasi.....	II-26
2.2.11	HOMER Pro.....	II-28
2.2.11.1	<i>Input Data HOMER Pro</i>	II-29
2.2.11.2	<i>Output HOMER Pro</i>	II-30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Jenis Penelitian.....	III-1
3.2	Prosedur Penelitian	III-1
3.3	Pemilihan Lokasi Penelitian	III-3
3.4	Tahapan Perencanaan.....	III-3
3.5	Pengumpulan Data	III-5
3.5.1	Pengolahan Data Menggunakan <i>Software Minitab 16</i>	III-6
3.5.1.1	Prediksi Konsumsi Energi Listrik	III-6
3.5.1.2	Prediksi Potensi Gas Metana dari POME	III-7
3.5.2	Pengolahan Data Manual.....	III-8
3.5.2.1	Persentase Penggunaan PLTD dan <i>Steam Turbine</i>	III-8
3.5.2.2	Prediksi Pengoperasian PLTD Tahun 2022	III-8
3.5.2.3	Pencabutan Biaya O&M PLTD Dari Substitusi PLTD.	III-8
3.6	Perhitungan Manual Dan Analisis Sistem <i>Hybrid</i>	III-9
3.6.1	Aspek Teknis	III-9
3.6.1.1	Penentuan Konfigurasi Sistem <i>Hybrid</i>	III-9
3.6.1.2	Pemilihan Komponen PLTU Biomassa	III-9
3.6.1.3	Penentuan Ukuran Dan Pemilihan Komponen PLTBg.	III-9



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.6.2 Aspek Emisi.....	III-10
3.6.3 Aspek Ekonomi	III-10
3.7 Simulasi HOMER Pro.....	III-11
3.7.1 Tahapan <i>Input</i> Dan Simulasi <i>Software</i> HOMER Pro	III-12
3.7.2 Analisis <i>Output</i> Simulasi HOMER Pro.....	III-16
3.8 Analisis Kelayakan Teknis dan Ekonomi PLT <i>Hybrid</i>	III-16
3.9 Kesimpulan Dan Saran	III-16
BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....	
4.1 Lokasi Penelitian.....	IV-1
4.2 Profil Beban Listrik PTPN V Sei Galuh	IV-2
4.2.1 <i>Forecasting</i> Data Beban Listrik 2022	IV-3
4.3 Potensi Biogas Dari Limbah POME PTPN V Sei Galuh	IV-8
4.3.1 <i>Forecasting</i> Data Limbah POME 2022.....	IV-9
4.4 Perhitungan dan Analisis Aspek Teknis	IV-11
4.4.1 Penentuan Spesifikasi Umum PLT <i>Hybrid</i>	IV-11
4.4.2 Penentuan Ukuran dan Spesifikasi Komponen PLTU Biomassa	IV-11
4.4.3 Penentuan Ukuran dan Spesifikasi Komponen PLTBg.....	IV-12
4.4.3.1 <i>Digester</i>	IV-12
4.4.3.2 <i>Biogas Purifier</i>	IV-13
4.4.3.3 <i>Dehumidifier</i>	IV-14
4.4.3.4 <i>Gas Flare</i>	IV-14
4.4.3.5 <i>Gas Engine</i>	IV-15
4.5 Perhitungan dan Analisis Penurunan Emisi Gas CO ₂	IV-16
4.5.1 Penurunan Emisi Gas CO ₂ Dari Pengoperasian PLTU Biomassa	IV-16
4.5.2 Penurunan Emisi Gas CO ₂ Akibat Substitusi PLTD	IV-17
4.5.3 Penurunan Emisi Gas CO ₂ Akibat Pemanfaatan Gas Metana.....	IV-17
4.6 Perhitungan dan Analisis Aspek Ekonomi	IV-18
4.6.1 Perhitungan Biaya Investasi	IV-18
4.6.1.1 Perhitungan <i>Initial Cost</i> PLT <i>Hybrid</i>	IV-18
4.6.1.2 Perhitungan Biaya <i>Maintenance</i> PLT <i>Hybrid</i>	IV-19
4.6.2 Perhitungan Laba Investasi.....	IV-21
4.6.2.1 Perhitungan Biaya CER	IV-21
4.6.2.2 Perhitungan Pencabutan Biaya Solar	IV-22



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.6.2.3	Perhitungan Pencabutan Biaya Perawatan PLTD	IV-22
4.6.3	Perhitungan dan Analisis Kelayakan Investasi.....	IV-25
4.6.3.1	<i>Net Present Value</i> (NPV)	IV-28
4.6.3.2	<i>Payback Period</i> (PBP)	IV-29
4.6.3.3	<i>Internal Rate Of Return</i> (IRR)	IV-30
4.7	Simulasi <i>Software</i> HOMER Pro	IV-32
4.7.1	Tahap-tahap <i>Input Software</i> HOMER Pro	IV-32
4.7.1.1	<i>Input Data</i> Lokasi	IV-32
4.7.1.2	<i>Input Data</i> Beban Listrik	IV-32
4.7.1.3	<i>Input Data</i> Genset Biogas.....	IV-33
4.7.1.4	<i>Input Data Steam Turbine</i>	IV-34
4.7.1.5	<i>Input Data</i> Ekonomi	IV-35
4.7.1.6	<i>Input</i> Desain Dan Konfigurasi Sistem.....	IV-35
4.7.2	Analisis <i>Output</i> HOMER Pro	IV-36
4.7.2.1	Analisis Performa Generator Set Biogas.....	IV-36
4.7.2.2	Analisis Performa <i>Steam Turbine</i>	IV-37
4.7.2.3	Analisis Produksi Listrik.....	IV-38
4.7.2.4	Analisis Ekonomi	IV-38
4.8	Analisis Kelayakan Teknis dan Ekonomi PLT <i>Hybrid</i>	IV-39
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-2
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	
	RIWAYAT HIDUP PENULIS	



DAFTAR GAMBAR

		Halaman
1. Proses Pengolahan Kelapa Sawit		II-3
2. Gambaran proses <i>anaerobic digestion</i>		II-6
3. <i>Flowchart</i> Simulasi Minitab 16 Metode <i>Time Series</i>		II-8
4. <i>Input Data</i> Waktu Sebelumnya.....		II-9
5. Pemilihan Jenis Pendekatan Metode <i>Time Series</i>		II-9
2. 6. <i>Input Data</i> dan Pemilihan <i>Model Type Trend Analysis</i>		II-10
2. 7. <i>Output Data</i> Pendekatan Metode <i>Trend Analysis</i>		II-11
2. 8. <i>Input Data</i> dan Pemilihan <i>Model Type Moving Average</i>		II-12
2. 9. <i>Output Data</i> Pendekatan Metode <i>Moving Average</i>		II-12
2. 10. Proses Kerja PLTU Biomassa PKS.....		II-14
2. 11. Skema pengolahan Biogas.....		II-15
2. 12. <i>Covered Anaerobic Lagoon (CAL)</i>		II-16
2. 13. Desain volume CAL.....		II-16
2. 14. Desain permukaan CAL		II-17
2. 15. <i>Continous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i>		II-18
2. 16. <i>H₂S Scrubber</i>		II-18
2. 17. <i>Dehumidifier</i>		II-19
2. 18. <i>Gas Flare</i>		II-21
2. 19. <i>Gas engine</i>		II-22
2. 20. <i>Carbon Credit</i>		II-24
2. 21. <i>Input dan Output</i> dalam Simulasi HOMER Pro.....		II-29
3. 1. <i>Flowchart</i> Penelitian		III--2
3. 2. <i>Flowchart</i> Simulasi HOMER Pro		III-12
3. 3. Penentuan Lokasi di HOMER Pro		III-13
3. 4. Penentuan Beban di HOMER Pro		III-13
3. 5. Pemilihan Komponen di HOMER Pro.....		III-14
3. 6. Pemilihan Sumber Energi di HOMER Pro.....		III-14
3. 7. <i>Input</i> Ekonomi di HOMER Pro.....		III-15
3. 8. Simulasi sistem di HOMER Pro.....		III-15
4. 1. Lokasi PT.Perkebunan Nusantara V PKS Sei Galuh		IV-1



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2	© Hak cipta milik UIN Suska Riau	<i>Input Data Beban Listrik 2019-2020 Pada Minitab 16</i>	IV-4
3		<i>Output Data Beban Listrik 2021-2022 Pada Minitab 16</i>	IV-4
4		<i>Input Data Flow Rate POME 2019-2020 Pada Minitab 16</i>	IV-9
5		<i>Output Data Flow Rate POME 2021-2022 Pada Minitab 16</i>	IV-9
6		<i>Steam Turbine PKS Sei Galuh</i>	IV-11
7		<i>Dimensi Dehumidifier</i>	IV-14
8		<i>Dimensi Enclosed Gas Flare</i>	IV-15
9		<i>Input Data Lokasi PKS Sei Galuh</i>	IV-32
10		<i>Input Data Beban Listrik PKS Sei Galuh</i>	IV-33
11		<i>Input Data Genset Biogas PKS Sei Galuh</i>	IV-33
12		<i>Input Bahan Bakar Genset Biogas PKS Sei Galuh</i>	IV-34
13		<i>Input Data Steam Turbine PKS Sei Galuh</i>	IV-34
14		<i>Input Parameter Ekonomi</i>	IV-35
15		<i>Konfigurasi Sistem PLT Hybrid PKS Sei Galuh</i>	IV-36
16		<i>Optimisation Result</i>	IV-36
17		<i>Kinerja Genset Biogas PKS Sei Galuh</i>	IV-37
18		<i>Kinerja Steam Turbine PKS Sei Galuh</i>	IV-37
19		<i>Produksi Listrik PLT Hybrid Biomass-Biogas</i>	IV-38
20		<i>Ringkasan Pembiayaan Proyek PLT Hybrid Biomass-Biogas</i>	IV-39



DAFTAR TABEL

		Halaman
1.	Asumsi dalam perhitungan potensi daya.....	II-13
2.	Spesifikasi <i>Biogas Purifier</i>	II-19
3.	Model-model <i>Dehumidifier</i>	II-20
4.	Model-model <i>Enclosed Gas Flare</i>	II-21
5.	Indeks <i>Global Warming Potential</i> (GWP) berdasarkan jenis GRK.....	II-23
1.	Data Primer Penelitian Beserta Sumber Data.....	III-5
3. 2.	Data Sekunder Penelitian Beserta Sumber Data.....	III-6
4. 1.	Penggunaan Listrik Harian PKS Sei Galuh 2020.....	IV-2
4. 2.	Pembagian Konsumsi Listrik Bulanan 2019-2020 PKS Sei Galuh Per PLT.....	IV-3
4. 3.	Hasil <i>Forecasting</i> Beban Listrik Total di tahun 2022.....	IV-5
4. 4.	Beban Listrik Harian 2022 PKS Sei Galuh.....	IV-6
4. 5.	Pembagian Beban Listrik di Tahun 2022 Berdasarkan PLT.....	IV-6
4. 6.	<i>Flow rate</i> POME PKS Sei Galuh 2019-2020.....	IV-8
4. 7.	Hasil <i>Forecasting Flow Rate</i> POME di tahun 2022.....	IV-10
4. 8.	Spesifikasi <i>Steam Turbine</i> PKS Sei Galuh.....	IV-11
4. 9.	Dimensi <i>Digester</i> CAL.....	IV-12
4. 10.	Perbandingan Model <i>Biogas Purifier</i>	IV-13
4. 11.	Spesifikasi <i>Gas Engine</i>	IV-16
4. 12.	Biaya Proyek PLTBg.....	IV-19
4. 13.	Biaya <i>Maintenance</i> 1 Unit PLTU Biomassa.....	IV-20
4. 14.	Jadwal <i>Maintenance</i> 1 Unit PLTU Biomassa Tahun 2022-2042.....	IV-20
4. 15.	Harga <i>Replacement</i> Komponen 1 Unit PLTD.....	IV-23
4. 16.	Biaya <i>Maintenance</i> 1 Unit PLTD.....	IV-23
4. 17.	Biaya <i>Maintenance</i> Dan <i>Replacement</i> 1 Unit PLTD Tahun 2022-2042.....	IV-24
4. 18.	Tabel Perhitungan PWF.....	IV-25
4. 19.	<i>Cash Out Flow</i> Proyek PLT Hybrid.....	IV-26
4. 20.	<i>Cash In Flow</i> Proyek PLT Hybrid.....	IV-27
4. 21.	<i>Net Present Value</i> Proyek PLT Hybrid.....	IV-28
4. 22.	<i>Payback Period</i> Proyek PLT Hybrid.....	IV-29
4. 23.	<i>Internal Rate Of Return</i> Proyek PLT Hybrid.....	IV-30
4. 24.	Ringkasan Uji Kelayakan Investasi Proyek PLT Hybrid.....	IV-31



DAFTAR RUMUS

		Halaman
1.	COD Loading	II-13
2.	Produksi Gas Metana.....	II-13
3.	Volume Kolam	II-16
4.	Volume <i>Digester</i>	II-16
5.	Luas Membran Kolam.....	II-17
6.	Luas Membran Penampungan Gas.....	II-17
7.	Luas Membran <i>Covered Anaerobic Lagoon</i> Total.....	II-17
8.	Kapasitas Genset Biogas	II-22
9.	Emisi CO ₂ PLTU Biomassa	II-23
10.	Emisi CO ₂ Penggunaan PLTD	II-23
11.	Massa Gas metana	II-24
12.	Emisi CO ₂ Pelepasan Gas Metana.....	II-24
13.	Biaya <i>Certified Emission Reduction</i> (CER).....	II-24
14.	<i>Levelized Cost Of Energy</i> (LCOE).....	II-25
15.	Net Present Value (NPV)	II-26
16.	<i>Cash In Flow</i> (CIF)	II-26
17.	<i>Cash Out Flow</i> (COF).....	II-27
18.	<i>Present Worth Factor</i> (PWF).....	II-27
19.	<i>Payback Period</i> (PBP).....	II-27
20.	<i>Internal Rate Of Return</i> (IRR).....	II-28

- Hak Cipta ini adalah milik UIN Suska Riau
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR SINGKATAN

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- | | |
|-------------------|---|
| AC | : Alternating Current |
| BPS | : Badan Pusat Statistik |
| BUMN | : Badan Usaha Milik Negara |
| CI | : Cash In Flow |
| COD | : Chemical Oxygen Demand |
| COF | : Cash Out Flow |
| HOMER | : Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables |
| IPAL | : Instalasi Pengolahan Air Limbah |
| IRR | : Internal Rate Of Return |
| LCOE | : Levelized Cost Of Energy |
| NPC | : Net Present Cost |
| NPV | : Net Present Value |
| PBP | : Payback Period |
| PKS | : Pabrik Kelapa Sawit |
| PLTB _g | : Pembangkit Listrik Tenaga Biogas |
| PLTD | : Pembangkit Listrik Tenaga Diesel |
| PLTU | : Pembangkit Listrik Tenaga Uap |
| PTPN | : PT. Perkebunan Nusantara |
| PWF | : Present Worth Factor |
| SGH | : Sei Galuh |
| TBK | : Tandan Buah Kosong |
| TBS | : Tandan Buah Segar |



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

	Halaman
Surat Penerimaan Izin Penelitian	A-1
Studi Pendahuluan	B-1
Data Konsumsi Listrik PTPN V Sei Galuh.....	C-1
Data <i>Flow Rate</i> POME PTPN V Sei Galuh	D-1
Data Hasil Uji COD POME PTPN V Sei Galuh	E-1
Data Biaya <i>Maintenance</i> PLTD & PLTU Biomassa PTPN V Sei Galuh	F-1
Perhitungan <i>Present Worth Factor</i> (PWF)	G-1
Dokumentasi Lokasi Penelitian.....	H-1

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan manusia terhadap energi listrik semakin meningkat seiring pertumbuhannya populasi penduduk di dunia. Energi listrik dibutuhkan oleh sektor rumah tangga, industri, umum dan komersial. Menurut buku *Indonesia Energy Outlook 2019*, permintaan energi listrik di tahun 2018 hingga 2050 diproyeksikan meningkat 9 kali lipat. Permintaan energi listrik Indonesia di tahun 2018 yang awalnya sebesar 254.6 TWh diprediksi akan meningkat hingga 2,214 TWh di tahun 2050. Seiring pertumbuhan pendapatan domestik regional bruto (PDRB) dalam pergerakan roda ekonomi nasional, sektor industri merupakan salah satu sektor yang akan mendominasi kebutuhan listrik di Indonesia dalam jangka pendek maupun jangka panjang [1].

Sektor industri berperan aktif dalam pertumbuhan perekonomian nasional. Selain membuka lapangan pekerjaan untuk masyarakat, sektor industri juga sebagai penunjang tinggi angka ekspor di Indonesia. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) 2019, industri kelapa sawit merupakan komoditas penyumbang angka ekspor terbesar di Indonesia dengan nilai ekspor sebesar 17,898.8 juta USD [2]. Pada umumnya, perusahaan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) menyuplai listrik dari pembangkit listrik mandiri untuk memenuhi kebutuhan listrik yang sangat besar. Perusahaan kelapa sawit sudah memanfaatkan limbah padat seperti tandan kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar *boiler*, namun banyak perusahaan kelapa sawit yang belum memanfaatkan limbah cairnya untuk memenuhi kebutuhan listrik [3].

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan kelapa sawit terbesar di dunia. Perkebunan kelapa sawit dikelola oleh perusahaan swasta dan negeri yang didominasi oleh Pulau Sumatera dan Pulau Kalimantan. Menurut data BPS, perusahaan kelapa sawit di Indonesia di tahun 2018 sebanyak 1.879 perusahaan yang terbagi di 4 bagian daerah di Indonesia. Jumlah perusahaan kelapa sawit di Indonesia di tahun 2018 didominasi oleh Pulau Sumatera dengan persentase 57% (1.071 PKS), diikuti Pulau Kalimantan 38% (714 PKS), Pulau Sulawesi dengan persentase 3% (56 PKS) dan pulau lainnya (Jawa, Maluku, dan Papua) dengan persentase 2% (38 PKS). Salah satu provinsi di Pulau Sumatera yang memiliki banyak perusahaan kelapa sawit adalah Provinsi Riau [4].



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Provinsi Riau merupakan provinsi yang memproduksi kelapa sawit terbesar di Pulau Sumatera. Menurut data Kementerian Pertanian (Kementan), angka produksi kelapa sawit di Provinsi Riau pada tahun 2018 tercatat 8,496 ribu ton kelapa sawit dari luas 706,8 ribu hektar seluruh perkebunan kelapa sawit Provinsi Riau. Angka produksi kelapa sawit di Provinsi Riau ini disuplai 40.2% oleh perkebunan swasta (902,929 Ha), 56.3% oleh perkebunan rakyat (1,733,959 Ha) dan 3.3% oleh perkebunan negara (70,004 Ha). Seluruh perkebunan kelapa sawit ini dikelola oleh perusahaan kelapa sawit [5]. Berdasarkan status kepemilikannya, perusahaan kelapa sawit di Indonesia terdiri dari perusahaan kelapa sawit swasta dan perusahaan kelapa sawit negara. Menurut data BPS, pada tahun 2018 di Provinsi Riau memiliki 196 perusahaan kelapa sawit yang didominasi oleh perusahaan kelapa sawit swasta dengan persentase 91% (178 PKS), sisanya adalah perusahaan kelapa sawit Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dengan persentase 9% (18 PKS). Salah satu perusahaan kelapa sawit milik negara yang terkenal di Provinsi Riau adalah PT. Perkebunan Nusantara V yang sering disebut PTPN V [4].

PTPN V merupakan suatu perusahaan kelapa sawit BUMN yang beroperasi sejak tahun 1996. PTPN V memiliki 12 PKS yang tersebar di Provinsi Riau, 2 PKS diantaranya sudah memanfaatkan limbah cair sawit atau yang disebut *Palm Oil Mill Effluent* (POME) untuk diproses menjadi biogas, salah satunya yaitu PKS Terantam di Kecamatan Tapung Hulu. PKS Terantam mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) untuk menyuplai listrik PKS sendiri dan *Palm Kernel Oil* (PKO) Tandun sejak tahun 2017. Dengan biaya investasi Rp.27 Miliar, PLTBg PKS Terantam yang berkapasitas 700 kW ini dapat menghemat biaya bahan bakar hingga Rp. 6 Miliar per tahun. Hal ini tentu menguntungkan dalam upaya memenuhi permintaan listrik PKS dan mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK), namun tidak seluruh PKS PTPN V sudah memanfaatkan limbah cair POME untuk dijadikan biogas, terdapat 10 PKS yang belum memanfaatkan potensi biogas yang besar ini, salah satunya yaitu PKS Sei Galuh yang terletak di Kecamatan Tapung, Kabupaten Kampar [6].

Berdasarkan hasil wawancara yang dilaksanakan secara langsung kepada Bapak M. Fachailul Anam selaku Manajer PKS Sei Galuh dan Bapak Fahmi Hidayat selaku Asisten Teknik PKS Sei Galuh, beban listrik di lokasi PKS ini yaitu pengolahan (77.78%), pencahayaan (13.66%), kantor & mushola (4.59%), bengkel & laboratorium (0.62%), dan instalasi air (3.32%). Dalam memenuhi beban listrik ini, PKS mengoperasikan PLTU biomassa berbahan bakar serabut dan cangkang sawit dengan kapasitas daya maksimum



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

59 kW, serta PLTD berkapasitas 300 kW sebagai pembangkit listrik cadangan. Penggunaan maksimum pembangkit listrik ini hanya diperbolehkan 80% dari daya maksimumnya.

Menurut data perusahaan, PKS ini memiliki angka pengolahan rata-rata 35 ton/jam dengan konsumsi listrik pengolahan 17 kW/ton. Maka pengolahan PKS mengonsumsi listrik 595 kWh, serta konsumsi 132.17 kWh listrik dari beban listrik kantor, bengkel dan lain-lain. Sehingga total konsumsi listrik PKS pada kondisi ini sebesar 27.17 kWh, yang mana sudah melebihi batas maksimum penggunaan PLTU biomassa. Dalam kondisi ini PKS mengoperasikan PLTD sebagai pembangkit listrik tambahan. Selain itu, pengoperasian PLTD juga dilakukan saat *starting up* pengolahan PKS untuk menyuplai listrik dalam pengoperasian komponen PLTU biomassa. Hal ini dilakukan untuk menghidupkan mesin pompa air dan mesin penggerak bahan bakar *boiler* yang tentunya memerlukan pembangkit listrik cadangan. Namun pengoperasian PLTD ini memproduksi listrik yang rendah dan biaya yang besar.

Berdasarkan hasil wawancara secara langsung kepada Bapak Edi Suprayetno selaku Kepala Bagian Teknik PKS Sei Galuh, permasalahan yang terjadi di PKS ini yaitu penggunaan energi fosil yang *unsustainable* dari PLTD, dan biaya *Operational & Maintenance* (O&M) PLTD sekitar Rp.550 juta/tahun yang tergolong besar. Untuk menghindari itu, PKS memerlukan suatu pembangkit listrik berbahan bakar gratis yang *sustainable* yaitu dari limbah POME yang diproduksi PKS setiap pengolahan TBS. Berdasarkan hasil wawancara secara langsung kepada Bapak Sugiyatno selaku Asisten Pengendalian Mutu PKS Sei Galuh, untuk tahun 2021 kedepannya perusahaan memiliki program peningkatan pasokan TBS, perusahaan akan menambah relasi dengan rakyat dan pihak kebun plasma untuk kontrak pembelian kelapa sawit. Sehingga program ini sangat mendukung perusahaan untuk mempertahankan dan meningkatkan produksi TBS dan limbah POME di tahun mendatang.

Hingga saat ini Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) POME PTPN V Sei Galuh dilakukan dengan sistem *open pond* yang hanya dimanfaatkan sebagai pupuk. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan kepada Bapak Rizalmi Fitrah selaku Kepala Sub Bagian Perencanaan dan Korporasi Kerja PTPN V Sei Galuh, permasalahan yang terjadi dari IPAL POME ini yaitu pelepasan gas metana dari *pond* yang dapat menyebabkan terjadinya efek GRK. Umumnya POME memiliki sifat fisis yang kental, berwarna coklat, mengandung lemak dan padatan, bersifat asam dalam rentang pH 3.5-4.0,



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- memiliki nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi. Tingginya nilai COD limbah POME bernilai positif dalam proses *anaerobic digestion* pada *digester*, nilai COD yang terukur pada limbah POME ini dapat digunakan untuk menganalisis potensi gas metana yang dihasilkan dari limbah POME untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan [7].
- Pemanfaatan gas metana dari limbah POME ini merupakan salah satu solusi dalam mewujudkan cita-cita Dewan Energi Nasional (DEN) dalam peningkatan penggunaan EBT menjadi 23% di tahun 2025, akan sangat mudah untuk mencapainya apabila seluruh perusahaan dan sektor terkait fokus mendukung program ini [8]. Selain itu, hal ini juga mendukung program *Clean Development Mechanism* (CDM), berupaya untuk mendapatkan *Indonesia Certified Emission Reduction* (ICER) agar mendapatkan dana insentif dari hasil perdagangan karbon sesuai protokol Kyoto. Hal ini sangat mendukung proyek pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg), yang sangat bernilai positif bagi PTPN V dari segi ekonomi [9].
- Dengan pengolahan TBS PKS Sei Galuh rata-rata sebesar 35 ton/jam, dan 20 jam produktif pengolahan, PKS dapat memproduksi limbah POME sebanyak 490 m³/hari. Jika limbah harian POME ini dikonversikan menjadi biogas dengan asumsi buku [9], maka kapasitas PLTBg yang dibangkitkan sebesar 1.18 MW. Kapasitas pembangkit listrik sebesar ini dapat memenuhi peningkatan permintaan energi listrik dari PKS Sei Galuh di tahun 2020 yang tercatat sebesar 250,972 kWh. Berdasarkan besarnya potensi limbah POME dan defisit listrik yang diproduksi PLTU biomassa, maka pada penelitian ini dilakukan penggabungan 2 atau lebih pembangkit listrik yang kerap disebut Pembangkit Listrik Tenaga (PLT) *hybrid* dengan konfigurasi paralel menjadi solusi yang tepat. Dilihat dari aspek ekonomi, biaya investasi PLT *hybrid* dinilai lebih ekonomis daripada hanya mengandalkan sebuah PLTBg atau hanya mengandalkan sebuah PLTU biomassa [10].
- Studi kelayakan pembangkit listrik ini hanya mencakup aspek teknis dan aspek ekonomi. Teknis perancangan proyek pembangkit listrik memakan waktu yang cukup lama khususnya pada program instalasinya, waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek bergantung kepada besarnya proyek tersebut. Maka dalam persiapannya, diperlukan metode *forecasting* untuk memprediksi data konsumsi energi listrik, dan *flow rate* limbah POME di tahun implementasi proyek agar perhitungan pada penelitian lebih nyata, *forecasting* dilakukan menggunakan data tahun-tahun sebelumnya dengan satuan bulan agar hasilnya lebih akurat [11]. Metode *forecasting* pada penelitian ini menggunakan



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- Minitab 16 sebagai *software* yang dapat melakukan *forecasting* metode *time series* menggunakan data-data waktu lampau [12].
- Dalam aspek teknis, proyek pembangunan PLT *hybrid* diawali dengan perhitungan manual potensi gas metana dari biogas yang dihasilkan di dalam *anaerobic digester* yang disesuaikan dengan pemilihan komponennya. Dalam proses pemurnian, biogas dari *digester* melalui beberapa tahap untuk memisahkan gas H_2S dan CO_2 , serta mengurangi kelembaban udara sehingga biogas menjadi biometana dengan konsentrasi tinggi. *Lower Heating Value* (LHV) biometana ini berkisar sekitar 36 MJ/kg yang mana jauh lebih besar daripada LHV biogas tanpa melalui proses pemurnian yang hanya berkisar 16-28 MJ/kg. Biometana yang sudah melalui tahap pemurnian ini siap untuk dibakar dalam *gas engine* yang dipilih sesuai dengan produksi gas metana harian PKS [13]. Selain itu, dilakukan analisis aspek emisi menggunakan perhitungan manual penurunan emisi CO_2 yang terjadi akibat pemanfaatan gas metana dan substitusi PLTD, serta perhitungan biaya CER dari program CDM akibat penurunan emisi CO_2 . Perhitungan-perhitungan manual dilakukan pada aspek teknis dan emisi ini mengikuti pedoman buku *Handbook POME To Biogas: Project Development In Indonesia* [9].
- Dalam aspek ekonomi, seluruh komponen yang diperlukan dalam proyek PLT *hybrid* ini dapat ditemukan di pasaran industri. Komponen-komponen ini memiliki biaya investasi awal, dan biaya O&M yang digunakan sebagai parameter *input* dalam analisis kelayakan investasi proyek pembangkit listrik [9]. Investasi proyek jangka panjang tentu dipengaruhi oleh nilai inflasi. Untuk menganalisis kelayakan investasi proyek jangka panjang PLT *hybrid* ini dapat dilakukan dengan mencari nilai parameter *Net Present Value* (NPV), *Payback Period* (PBP) dan *Internal Rate Of Return* (IRR). Perhitungan parameter-parameter ini dilakukan menggunakan perhitungan manual dengan *Cash In Flow* (CIF) yang meliputi; biaya CER dan uang yang tersimpan akibat penghentian biaya solar dan perawakan PLTD, perhitungan manual ini juga perlu memasukkan *Cash Out Flow* (COF) yang meliputi; biaya investasi, biaya O&M dan pergantian komponen yang total biayanya dirangkum pada parameter *Net Present Cost* (NPC) [14].
- Analisis teknis dan ekonomi PLT *hybrid* pada penelitian ini juga didukung oleh bantuan *software Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables* (HOMER Pro). *Software* ini dapat mensimulasikan suatu proyek pembangkit listrik dalam menganalisis performa sistem pembangkit listrik beserta *output* energinya, dan menganalisis *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) dalam jangka panjang. Simulasi dalam menganalisis performa



1. Diarahkan mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- sistem pada aspek teknis menggunakan *software* HOMER Pro ini perlu meng-*input*-kan komponennya, *flow rate* gas metana dan beban listrik PKS. Sementara, perhitungan parameter LCOE pada HOMER Pro ini dilakukan dengan meng-*input*-kan nilai biaya investasi awal, biaya O&M, pergantian komponen, inflasi, dan suku bunga [15]. Perhitungan parameter LCOE ini dilakukan untuk menentukan harga energi yang dihasilkan, rendahnya nilai LCOE daripada nilai yang diterapkan oleh pemerintah mendukung kelayakan suatu sistem pembangkit listrik [16].
- Dari studi kasus dan solusi yang telah diuraikan, penelitian perlu dilakukan untuk menganalisis kemungkinan penggunaan PLT *hybrid biomass-biogas* berdasarkan potensi yang tersedia. Penulis meneliti dari aspek teknis yang meliputi ukuran komponen, performa sistem dan *output* energi listrik yang dihasilkan, aspek emisi yang meliputi penurunan emisi GRK, dan aspek ekonomi yang meliputi harga energi dan kelayakan investasi proyek. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan sebuah penelitian yang berjudul “Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Biomass-Biogas* (Studi Kasus: PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh)”.
- ### 1.2 Rumusan Masalah
- Adapun rumusan masalah yang diangkat yaitu sebagai berikut.
1. Berapa besar potensi biogas PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh di tahun implementasi proyek?
 2. Bagaimana analisis teknis Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid biomass-biogas* PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh?
 3. Berapa besar penurunan emisi CO₂ dari proyek Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid biomass-biogas* PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh?
 4. Bagaimana analisis ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid biomass-biogas* PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh?
- ### 1.3 Tujuan Penelitian
- Adapun beberapa tujuan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.
1. Menghitung dan menganalisis potensi biogas PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh beserta di tahun implementasi proyek.
 2. Menghitung dan menganalisis kelayakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid biomass-biogas* dari aspek teknis berdasarkan potensi gas metana dari limbah POME PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Menghitung dan menganalisis penurunan emisi CO₂ dari Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid biomass-biogas* PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh.
2. Menghitung dan menganalisis kelayakan pada aspek ekonomi dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid biomass-biogas* di PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh.

Batasan Penelitian

Agar topik tugas akhir ini lebih terkhusus dan tidak melebar, oleh karena itu penulis akan membatasi topik tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* HOMER Pro untuk mengaji aspek teknis dan ekonomi, analisis aspek ekonomi pada penelitian ini tidak melakukan *sensitivity analysis*.
2. Dalam penelitian ini hanya menganalisis perencanaan awal secara teknis dan ekonomi pembangkit listrik *hybrid biomass-biogas*, tidak masuk pada perancangan pembangkit listrik.
3. Perhitungan emisi pada penelitian ini hanya membahas besarnya emisi CO₂, tidak membahas emisi gas SO₂, NO_x, dan lainnya.
4. Penelitian ini tidak mengutilisasi energi termal yang terlepas dari PLTBg untuk *boiler* atau beban termal lainnya.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Penelitian ini menjadi bahan referensi ataupun pedoman dan pertimbangan dalam pemodelan sistem Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid biomass-biogas* PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh.
2. Penelitian ini mendukung cita-cita DEN terkait pemanfaatan EBT sebesar 23% di tahun 2025.
3. Ilmu yang terdapat pada penelitian ini dapat dimanfaatkan pembaca dan berguna di dunia akademik dan di dunia kerja.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terkait

Dalam penyusunan penelitian ini, penulis terinspirasi dan mendapatkan referensi dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan latar belakang masalah pada tugas Akhir ini. Berikut ini penelitian terdahulu yang berhubungan dengan skripsi ini sebagai berikut.

Penelitian [17], membahas proyek pembangkit listrik yang berlokasi di Pulau Giglio, penelitian ini bertujuan untuk mengurangi 30% konsumsi generator diesel. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan manual mengikuti 2 tahap; tahap pertama yaitu dalam tujuan penurunan konsumsi diesel 7% dilakukan instalasi PV dengan daya 500 kWp yang dilengkapi baterai *lithium-ion*, dan pada tahap kedua bertujuan untuk menurunkan konsumsi diesel sebesar 30%. Hasil simulasi menunjukkan pada saat penggunaan diesel sebelumnya, nilai COE sebesar 0.39 EUR/kWh. Setelah tahap pertama dilakukan, nilai COE menjadi 0.37 EUR/kWh. Setelah tahap kedua dilakukan, COE menjadi 0.34 EUR/kWh. Proyek penggunaan sistem *hybrid* ini menurunkan emisi GRK total sebesar 11%.

Penelitian [11], membahas tentang pemanfaatan POME di PKS Sei Pagar PTPN V, gas metana dari POME dibentuk menjadi biogas dengan menggunakan *digester* CSTR dan *gas engine* yang dapat mengkonversikan menjadi energi listrik. Dalam menghitung aspek teknis dan ekonomi, metode yang digunakan adalah perhitungan manual. Hasil penelitian menunjukkan, kelayakan dari aspek ekonomi dibuktikan dengan nilai IRR sebesar 11.44% yang mana lebih tinggi dari WACC yang sebesar 10.86%. *Payback period* setelah dihitung selama 7 tahun 11 bulan. Nilai NPV mencapai Rp 1,103,209,098 dan nilai PI sebesar 2.64. Dari nilai $PI > 1$, maka disimpulkan bahwa proyek ini menguntungkan.

Penelitian [18], bertujuan untuk menganalisis optimalisasi PLTBg PTPN V PKS Terantam dengan memanfaatkan biogas menjadi bahan bakar *boiler* untuk substitusi cangkang kelapa sawit. Metode yang digunakan untuk menghitung emisi GRK dan penjualan cangkang ini dengan perhitungan manual. Hasil penelitian menyatakan bahwa penurunan emisi GRK 42,377.1 ton CO₂/tahun, jumlah listrik yang dapat dijual ke PT.PLN sebesar 7,677,045 kWh/tahun dengan keuntungan Rp.8,803,270,000/tahun. Cangkang



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- sawit yang disubstitusi dapat dijual dengan adanya substitusi cangkang sebesar 2,688.6 ton/tahun yang dinominalkan sebesar Rp. 1,344,300,000/tahun.
- Penelitian [19] yang berlokasi di Odisha, India. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menganalisis aspek teknis dan ekonomi yaitu menggunakan *software* HOMER Pro. Hasil penelitian menunjukkan model *hybrid biomass*-biogas yang paling layak dan ekonomis menggunakan komponen pembangkit listrik *biomass system* dengan kapasitas 12 kW dan *biogas generator* dengan kapasitas 3 kW. Dengan biaya bahan baku 0 USD, menghasilkan NPC terendah sebesar 244,263 USD dengan LCOE terendah sebesar 1.204 USD/kWh.
- Penelitian [20] yang berlokasi di Nigeria, tujuan pada penelitian ini untuk menganalisis desain dan simulasi pembangkit listrik tenaga *hybrid*. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *software* HOMER Pro, hasil penelitian menunjukkan bahwa memenuhi kebutuhan listrik di lokasi studi ini menggunakan sistem yang dirancang dengan mempertimbangkan ketersediaan biomassa dan sumber daya surya. Konfigurasi paling ekonomis dari pembangkit listrik ini terbukti memiliki 93.7% dari total listrik yang dihasilkan dari biomassa yang berasal dari 43.8% dan 49.9% yang dihasilkan masing-masing oleh generator biogas 10kW dan 20kW, dan sisanya 6.3% berasal dari *photovoltaic*. Dari simulasi HOMER Pro, LCOE terendah yang didapat sebesar 0.913 EUR/KWh dengan NPC sebesar 368,518 EUR.
- Berdasarkan *literature review* yang telah dilakukan, penelitian terkait [17] fokus kepada penurunan konsumsi listrik PLTD dengan memanfaatkan PV yang dilengkapi dengan baterai, penelitian ini tidak menganalisis kelayakan investasi yang meliputi NPV, PBP dan IRR. Penelitian sebelumnya [11] dilakukan di PTPN V yang lokasi PKS-nya berbeda dari lokasi pada penelitian penulis, terfokus kepada aspek teknis dan ekonomi PLTB dengan *digester* tipe CSTR, penelitian ini tidak menganalisis aspek emisi dari proyek ini. Penelitian sebelumnya [18] juga dilakukan di PTPN V dengan lokasi PKS yang berbeda ini fokus kepada optimalisasi pembangkit listrik dengan menyubstitusi cangkang sawit dengan biogas dari limbah POME, namun dari penelitian ini tidak dilakukan analisis kelayakan investasi proyek jangka panjang yang meliputi NPV dan IRR. Penelitian terdahulu [19], menganalisis kelayakan teknis pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* dengan memanfaatkan biogas dari kotoran ternak dan memanfaatkan biomassa dari limbah padat pertanian, pembangkit listrik ini menyuplai listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik sektor pertanian, penelitian ini tidak menganalisis kelayakan investasi

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

yang meliputi NPV, PBP dan IRR. Penelitian terkait terakhir [20], menganalisis kelayakan teknis pembangkit listrik tenaga *hybrid* biogas-PV berdasarkan ketersediaan energi matahari dan biomassa, namun penelitian ini tidak menganalisis kelayakan aspek ekonomi yang meliputi nilai NPV, PBP dan IRR.

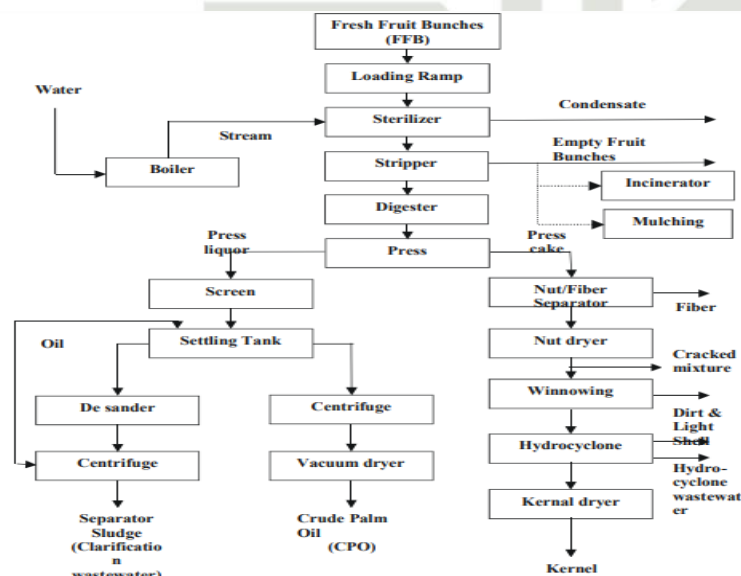
Pada penelitian ini, penulis menganalisis aspek teknis dan aspek ekonomi pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* dengan konfigurasi paralel mengikuti rekomendasi *Handbook POME To Biogas* dari Winrock International. Penulis melakukan penelitian menggunakan prediksi data di tahun implementasi. Penelitian yang penulis lakukan juga menghitung besarnya penurunan emisi GRK dan penghematan biaya akibat substitusi PLTD dan penggunaan pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* yang belum dilakukan pada penelitian terkait.

2.2 Landasan Teori

Pada penelitian ini dijelaskan referensi-referensi terkait topik penelitian yang bersumber dari jurnal, buku, *website* resmi dan berbagai sumber lain. Landasan teori ini digunakan sebagai acuan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

2.2.1 Pengolahan Kelapa Sawit Di PKS

Pengolahan kelapa sawit bertujuan untuk memproduksi *Crude Palm Oil* (CPO) dengan kualitas baik sebagai penyumbang devisa negara dalam ekspor. Selain CPO, PKS juga memproduksi *Palm Kernel Oil* (PKO) dan *Palm Kernel Meal* (PKM) sebagai hasil produksi lainnya. Dalam memproduksi produk-produk hasil utama ini, dilakukan proses yang disusun pada Gambar 2. 1.



Gambar 2. 1 Proses Pengolahan Kelapa Sawit [21]



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dalam mengolah kelapa sawit untuk memproduksi CPO, PKS melakukan berbagai tahap sebagai berikut.

Sortasi Tandan Buah Segar (TBS)

TBS dengan kualitas baik, dibawa oleh truk dari daerah perkebunan, lalu diletakkan pada stasiun *loading ramp* atau tempat sortasi TBS di lokasi PKS untuk dibawa lori ke tempat perebusan [22].

Sterilizing

Proses *sterilizing* dilakukan dengan uap bertekanan 3 kg/cm^2 , dengan suhu sekitar 143°C yang dilakukan selama 1.5 jam. Hal ini bertujuan untuk mencegah peningkatan *fatty acid* karena reaksi enzimatis, selain itu juga mempermudah proses pelepasan buah dari tandannya, dan meminimalisir potensi pecahnya inti sawit [23]. Air hasil proses *sterilizing* ini menjadi limbah cair TBS yang dapat mengembun dan keluar dari *sterilizer* [21].

Threshing

Proses *threshing* atau perontokan buah dilakukan dalam tujuan memisahkan buah dari tandan kosong, sehingga buah yang terlepas dapat diproses untuk memproduksi CPO [23], pengolahan dilakukan menggunakan mesin pengolah buah sawit yang bernama *rotary drum threshing* yang bekerja pada putaran 23-25 rotasi per menit [22]. Pada proses ini, limbah padat yang dihasilkan yaitu Tandan Buah Kosong (TBK) yang akan dijadikan pupuk [21].

Digestion

Proses *digestion* atau pelumatan ini dilakukan untuk memanaskan buah kembali, memisahkan mesokrap dari inti sawit, dan memecahkan sel minyak sebelum ekstraksi. Proses ini dilakukan selama 20 menit dengan suhu 95°C hingga 100°C dengan tekanan 40-50 bar [23]. Air panas ditambahkan pada proses ini untuk meningkatkan aliran minyak, pada proses ini tidak ada produksi limbah [21].

Ekstraksi Minyak

Proses ini dilakukan untuk mengekstraksi minyak sawit dari buahnya, pada proses ini diperlukan mesin penekan agar proses ekstraksi lebih baik. Hasil pada proses ini terbagi menjadi residu dan cairan ekstraksi sawit [23].

Klarifikasi

Pada proses ini, minyak yang sudah diekstraksi dari seratnya, mengandung minyak (66%), air (24%), dan padatan tanpa minyak (10%). Minyak di pompakan



1. Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

menuju tanki vertikal dan dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan tinggi dan didukung oleh pengering vakum untuk memisahkan air dari CPO, setelah itu CPO disimpan di tempat penyimpanan atau *storage* yang menjaga suhu tetap 60°C. [21].

Dalam proses pengolahan TBS untuk memproduksi CPO, PKS juga menghasilkan produk samping yang disebut limbah kelapa sawit.

2.1.1 Produk Samping Hasil Pengolahan Kelapa Sawit

Berdasarkan bentuk fisisnya, limbah PKS terbagi menjadi 2; limbah padat umumnya (33%) dan limbah cair (67%). Limbah padat diantaranya berupa tandan buah kosong (22%), *fibers* (13.5%), dan cangkang kelapa sawit (5.5%), sementara limbah cair yaitu POME (67%) [24].

1. Oil Palm Shells

Cangkang sawit atau *shells* ini merupakan kulit dari kernel yang dipisahkan. Cangkang sawit ini biasanya digunakan sebagai bahan bakar *boiler* dan sebagian dijual untuk menguntungkan PKS, harga dari cangkang sawit ini Rp.500.000 setiap tonnya [18].

2. Oil Palm Fibers

Serabut kelapa sawit ini merupakan residu pemerasan buah saat proses pemisahan kernel dan serabut, *fiber* ini mengandung serat, sehingga dapat dibakar dan umumnya dimanfaatkan PKS untuk bahan bakar utama *boiler*.

3. Empty Fruit Bunch

Empty fruit bunch (EFB) atau yang dikenal tandan buah kosong (TBK) hasil perontokan buah atau proses *threshing* yang diputar oleh mesin *rotary drum threshing* untuk memisahkan TBK dari buah. TBK ini merupakan limbah padat kelapa sawit yang ini dibakar dan abunya digunakan untuk pupuk.

4. Palm Oil Mill Effluent (POME)

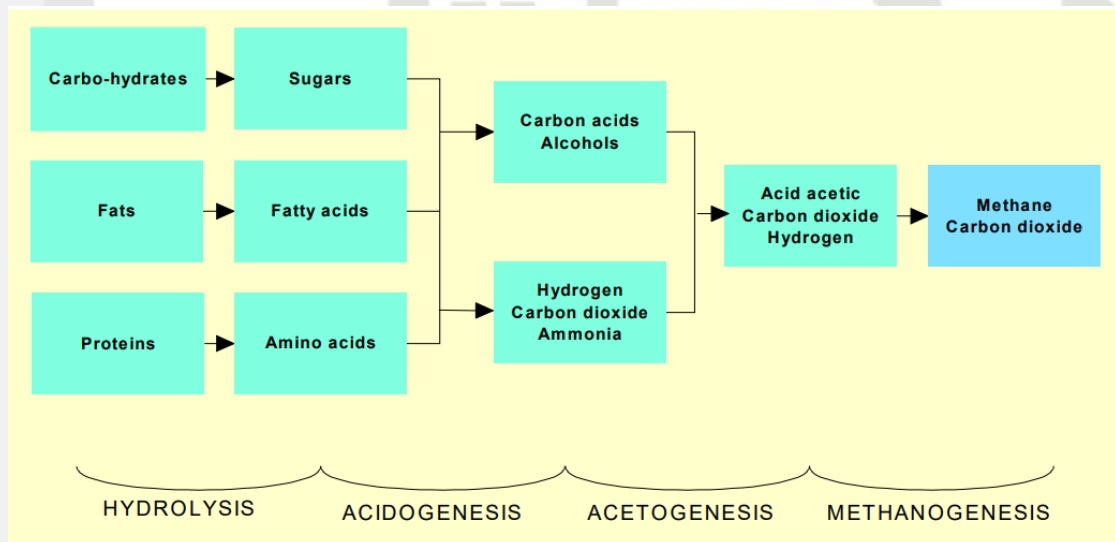
POME adalah limbah cair yang dikeluarkan PKS hasil pengolahan TBS. Proses ekstraksi CPO membutuhkan air yang banyak, sebanyak 5-7.5 ton air diperlukan untuk memproduksi 1 ton CPO, 50% air hasil pemrosesan itu adalah POME. POME memiliki pH sekitar 4-5 yang disebabkan proses fermentasi, POME mengandung zat tak terlarut seperti protein, karbohidrat, senyawa nitrogen, lipid dan mineral yang mana dapat dijadikan sebagai material berguna dengan adanya

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

proses mikroba. POME memiliki persentase sekitar 50-75% dari setiap ton TBS [21].

2.2 Proses Anaerobic Digestion

Anaerobic digestion adalah proses mikrobiologis dari penguraian bahan organik tanpa adanya oksigen. Produk utama dari proses ini adalah biogas dan *digestate*. Biogas adalah gas yang dapat terbakar, yang didominasi oleh gas metana dan karbon dioksida. *Digestate* adalah substrat yang membusuk yang berbentuk padat. Selama proses *anaerobic digestion*, energi yang secara kimia terikat di substrat, sebagian besar tetap berada dalam biogas yang dihasilkan dalam bentuk metana. Proses pembentukan biogas merupakan hasil dari tahapan proses yang saling terkait, dimana bahan awal terus menerus dipecah menjadi unit yang lebih kecil [25]. Mikroorganisme tertentu, terlibat dalam setiap langkah *anaerobic digestion* ini. Mikroorganisme ini secara berturut-turut menguraikan produk dari langkah sebelumnya sebagai berikut.



Gambar 2. 2 Gambaran proses *anaerobic digestion* [25]

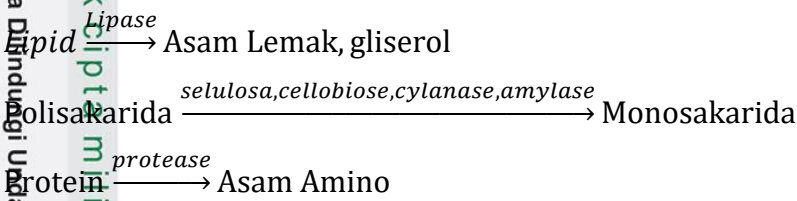
Adapun langkah-langkahnya diurutkan menjadi; *hydrolysis*, *acidogenesis*, *acetogenesis*, dan *methanogenesis* [25].

1. *Hydrolysis*

Hydrolysis merupakan langkah pertama dalam proses *anaerobic digestion*, di mana bahan organik kompleks (polimer) diuraikan menjadi unit yang lebih kecil (mono dan oligomer). Selama proses *hydrolysis*, polimer seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat, dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin, dan piridin. Mikroorganisme hidrolitik



2. Dihasilkan enzim hidrolitik, mengubah biopolimer menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah larut. Alur perubahannya dijelaskan sebagai berikut.



2. Acidogenesis

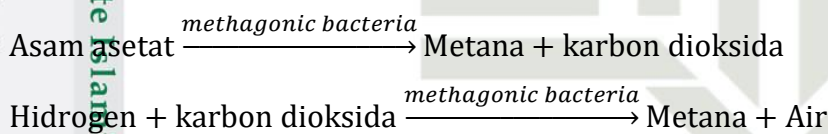
Selama proses *acidogenesis*, produk hidrolisis diubah oleh bakteri asidogenik (fermentatif) menjadi substrat metanogenik. Gula, asam amino dan asam lemak diuraikan menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen (70%) serta menjadi *Volatile Fatty Acid* (VFA) dan alkohol (30%).

3. Acetogenesis

Produk dari asidogenesis tidak dapat langsung diubah menjadi metana oleh bakteri metanogenik, produk dari *acidogenesis* diubah menjadi substrat metanogenik selama asetogenesis. VFA dan alkohol dioksidasi menjadi substrat metanogenik seperti asetat, hidrogen, dan karbon dioksida. VFA dan alkohol dioksidasi menjadi asetat dan hidrogen.

4. Methanogenesis

Produksi metana dan karbon dioksida dari produk antara dilakukan oleh bakteri metanogenik. 70% zat metana yang terbentuk dari asetat, sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari konversi hidrogen (H) dan karbon dioksida (CO₂), mengikuti alur berikut.

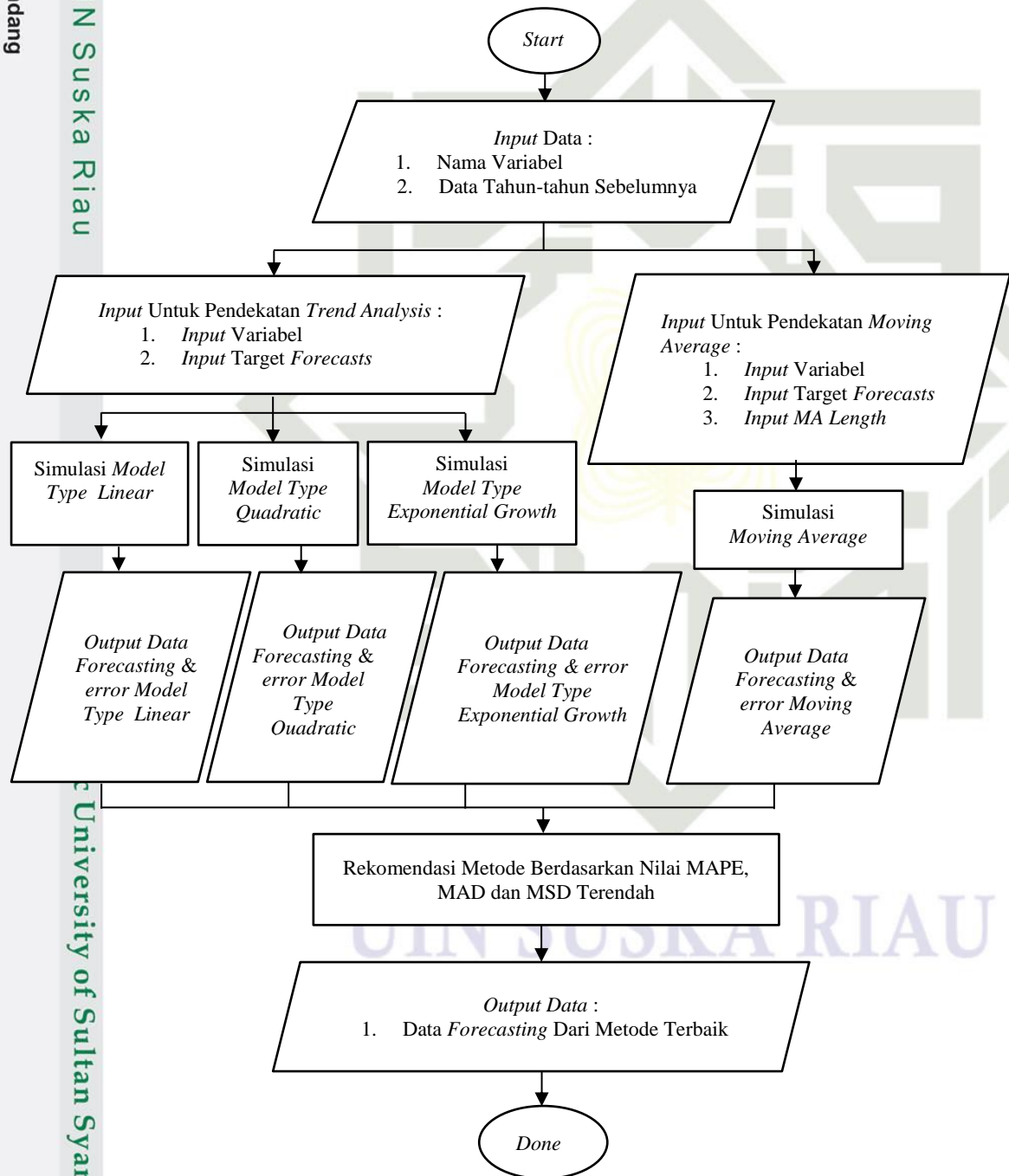


Methanogenesis merupakan tahap akhir yang penting dalam anarobic digestion, proses pada tahap ini dapat dipengaruhi oleh suhu, jumlahnya, dan pH. Digester yang overload, banyaknya oksigen yang masuk dapat menghambat proses *methanogenesis*.

2.2.3 Forecasting Data Menggunakan Metode Time Series Minitab

Minitab adalah *software* yang digunakan untuk melakukan perhitungan statistik, numerik, dan grafik. Minitab dapat melakukan *forecasting* atau peramalan data yang tentu memerlukan data lampau untuk memprediksi angka di masa mendatang, menggunakan metode *time series* [12]. Metode *time series* atau deret waktu adalah metode yang digunakan untuk meramalkan data masa mendatang yang berkaitan dengan waktu. Data

- time series contohnya seperti konsumsi daya listrik, penjualan atau permintaan suatu produk, harga komoditas, dan sebagainya. *Forecasting* menggunakan metode *time series* pada software Minitab 16 ini terbagi menjadi 2 yaitu *trend analysis* dan *moving average*. Metode *forecasting* akan dipilih atas dasar tingkat kesalahan *forecasting* terkecil, yaitu nilai *Mean Absolute Percentage Errors* (MAPE), *Mean Average Deviation* (MAD), dan *Mean Squared Deviation* (MSD) yang terendah [26]. Secara singkat *forecasting* menggunakan Minitab 16 ini dijelaskan dengan *flowchart* sebagai berikut.



Gambar 2. 3 *Flowchart* Simulasi Minitab 16 Metode *Time Series*

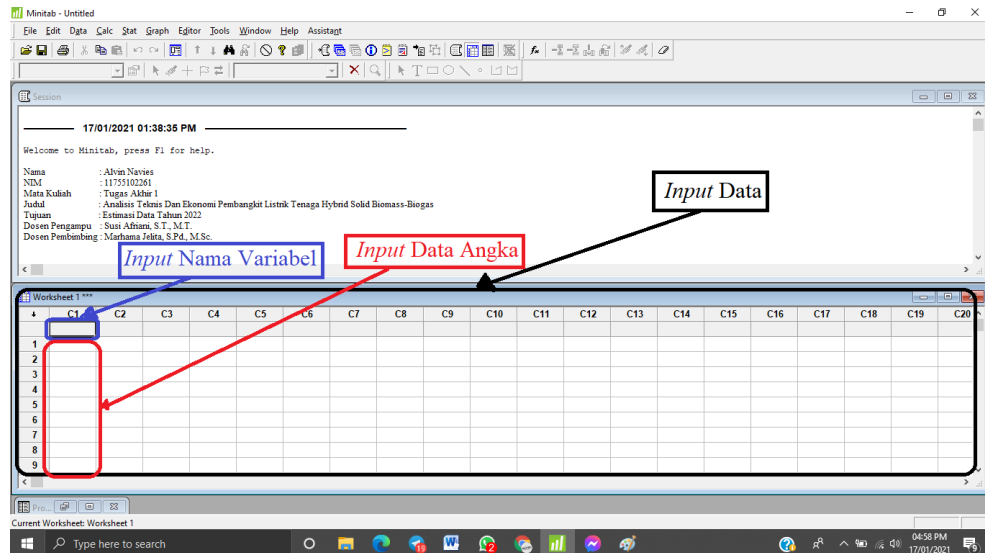
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dalam menggunakan metode *time series* pada *software* Minitab, ada beberapa langkah yang dilakukan sesuai buku [12] yaitu sebagai berikut.

1. Input Data Waktu Sebelumnya

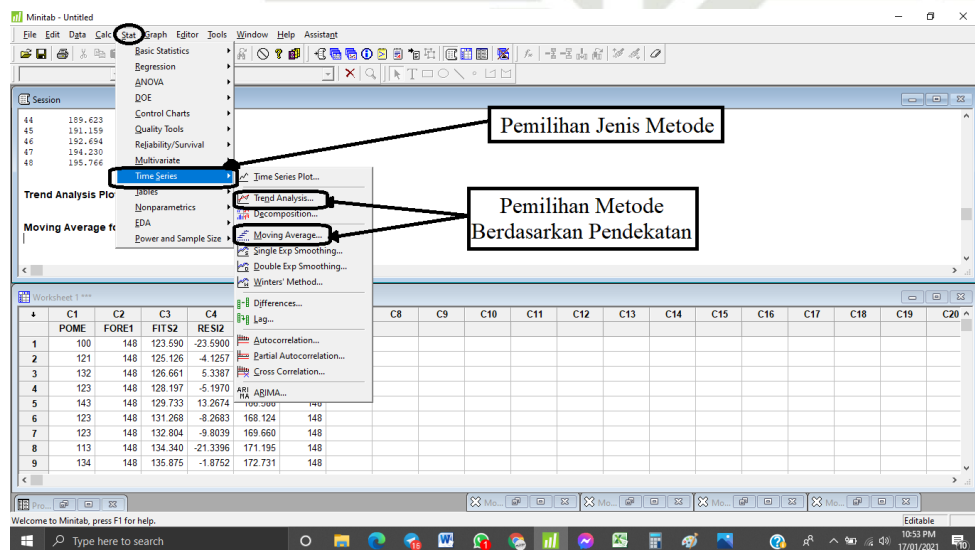
Pada tahap ini, penulis mengisi kolom C1 untuk menambahkan nama data yang akan diprediksi, kolom C1 baris 1 sampai seterusnya adalah kolom-kolom anggota data yang dideskripsikan pada gambar berikut.



Gambar 2. 4 Input Data Waktu Sebelumnya

2. Pemilihan Metode Dan Pendekatan Metode

Pada tahap ini dipilih “*stat*”, pada tahap ini akan banyak timbul tawaran metode yang dipilih sesuai keperluan. Penelitian ini menggunakan metode “*time series*” seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. 5 Pemilihan Jenis Pendekatan Metode *Time Series*

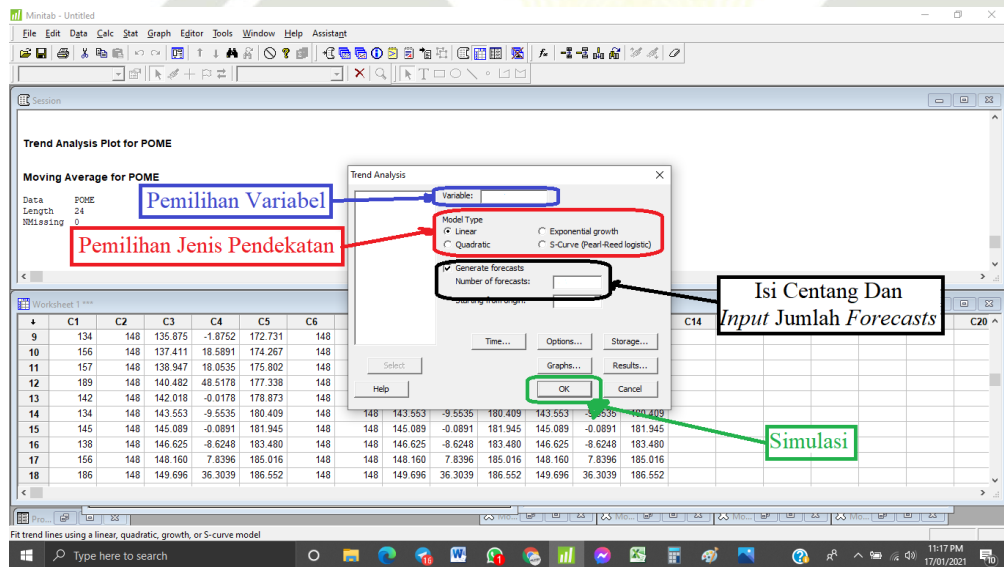
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada tahap ini, akan terlihat beberapa pendekatan pada metode *time series*, yaitu *Trend Analysis* dan *Moving Average*. Masing-masing pendekatan metode ini disimulasikan satu persatu.

Trend Analysis

Trend Analysis merupakan pendekatan pada metode *time series* yang menyesuaikan model umum dengan beberapa data deret waktu yang memiliki pola tren dan memberikan ide kepada *traders* tentang apa yang akan terjadi di masa depan berdasarkan data historis. Berdasarkan pembagian metodenya saat simulasi, *trend analysis* terbagi atas 3 yaitu; *Model Type Linear*, *Model Type Quadratic* dan *Model Type Exponential Growth* [26]. Pada tahap ini penulis akan meng-input data nama variabelnya dan jumlah *forecasts*. Pada tahap ini akan dilakukan kepada 3 *Model Type* yakni; *Model Type Linear*, *Model Type Quadratic* dan *Model Type Exponential Growth* yang masing-masing disimulasikan dengan memilih “OK” secara terpisah. Percobaan satu pendekatan metode akan diilustrasikan gambar di bawah dengan *Model Type Linear* sebagai berikut.

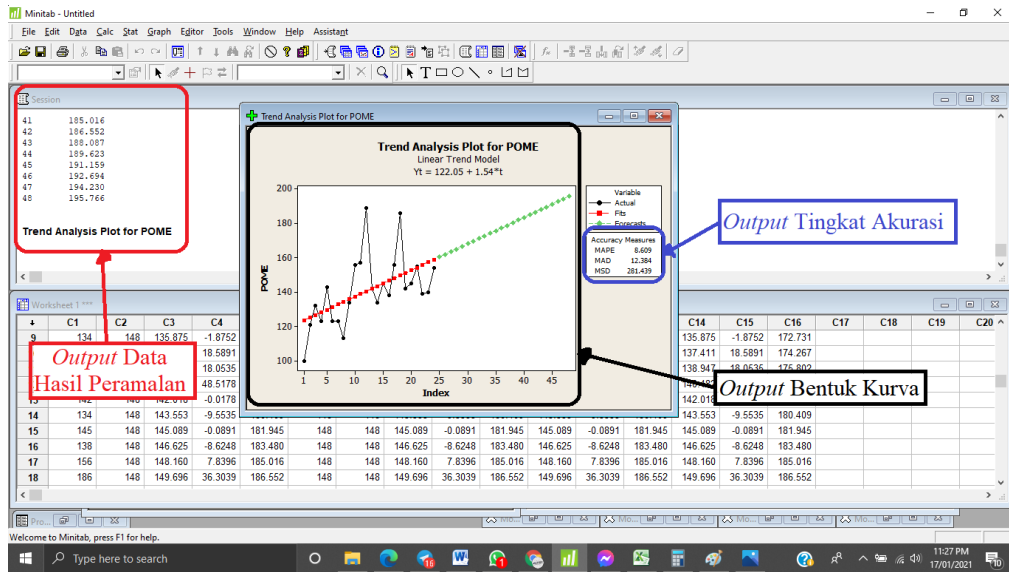


Gambar 2. 6 Input Data dan Pemilihan *Model Type Trend Analysis*

Setelah itu, penulis mendapatkan salah satu *output*-nya berupa *Accuracy Measures* yang dapat dicatat.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 7 Output Data Pendekatan Metode Trend Analysis

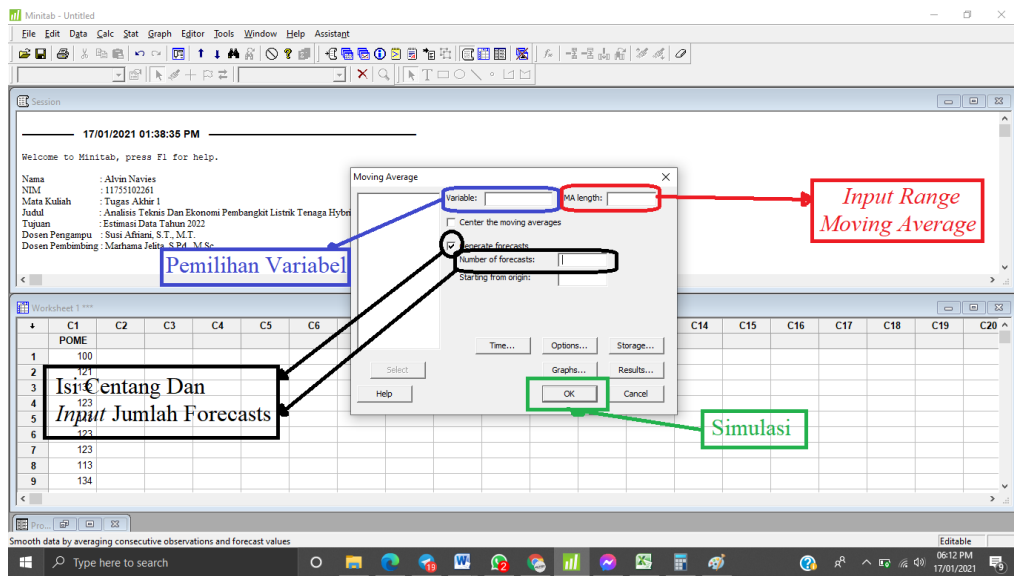
Dari gambar di atas, maka simulasi *Model Type Linear* dinyatakan telah selesai dan dilanjutkan dengan mengulangi langkah tadi kembali dengan *model type Quadratic* dan *model type Exponential Growth* yang hasil pengukuran akurasi masing-masingnya dicatat.

b. Moving Average

Moving average adalah rata-rata aritmatika pengamatan dari kumpulan data lengkap dan menggunakan rata-rata aritmatika sebagai prediktor untuk periode mendatang. Metode ini digunakan untuk memuluskan deviasi jangka pendek dari data deret waktu dan menunjukkan tren atau siklus jangka panjang [26]. Pada tahap ini penulis akan Meng-input nama variabelnya dan memilihnya dengan mengeklik 2 kali, pada *MA length* masukkan panjang periode yang diinginkan. Kemudian, klik kolom centang untuk mengaktifkan *generate forecasts*. Pada kolom *number of forecasts*, masukkan banyak ramalan yang diinginkan. Pendekatan metode *Moving Average* ini disimulasikan dengan memilih “OK” seperti gambar dibawah berikut.

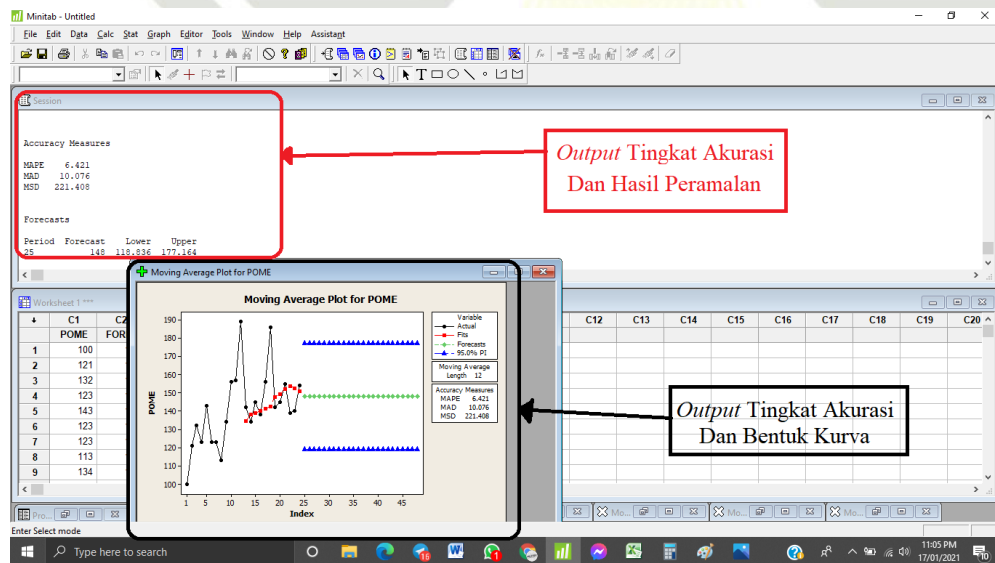
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 8 Input Data dan Pemilihan Model Type Moving Average

Setelah itu, penulis mendapatkan *output*-nya berupa *Accuracy Measures* yang berisikan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), *Mean Absolute Deviation* (MAD) dan *Mean Squared Deviation* (MSD), parameter-parameter akurasi seperti pada gambar di bawah ini dapat dicatat untuk sebagai bahan studi banding.



Gambar 2. 9 Output Data Pendekatan Metode Moving Average

3. Studi Kelayakan Metode Time Series

Tahap ini adalah tahap akhir dalam menggunakan metode *time series* pada software Minitab. Setelah mendapatkan *output* dari masing-masing metode pada *Trend Analysis* dan *Moving Average*, pada tahap ini akan dilakukan studi kelayakan metode-metode tersebut berdasarkan nilai *Mean Absolute Percentage*



1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
a. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
b. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Error (MAPE), *Mean Absolute Deviation* (MAD) dan *Mean Squared Deviation* (MSD) terendah. Setelah menyimpulkan metode pendekatan sesuai kriteria yang dimaksud, maka penulis mengumpulkan data *output* dari metode pendekatan tersebut.

2.4 Potensi Gas Metana Dari Limbah Cair POME

Perhitungan potensi gas metana ini memerlukan data COD dengan satuan g/liter, *flow rate* POME dengan satuan ton/hari dan data-data lainnya yang dapat diasumsikan Tabel 2. 1 seperti berikut [9].

Tabel 2. 1 Asumsi dalam perhitungan potensi daya [9]

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Perbandingan Konversi Metana Terhadap COD	CH ₄ /COD	0.35	Nm ³ CH ₄ /kg COD	Volume gas metana yang dihasilkan per kg COD
2	Efisiensi COD	COD _{eff}	80-95	%	Nilai persentase COD yang akan dikonversi menjadi gas metana
3	Kandungan Energi Metana	CH _{4,ev}	35.7	MJ/m ³	Kandungan energi gas metana
4	Efisiensi Kelistrikan Rata-rata	Gen _{eff}	38-42	%	Efisiensi <i>gas engine</i> dalam konversi nilai energi gas metana menjadi energi listrik

Parameter-parameter sesuai data asumsi pada Tabel 2. 1 ini digunakan untuk menghitung COD *Loading* dan produksi CH₄. Kandungan energi ini merupakan *Lower Heating Value* (LHV) dari biogas yang sudah melalui tahap pemurnian. COD *Loading* yaitu besarnya kandungan COD dari jumlah limbah harian POME, besarnya nilai COD ini tentu berpengaruh kepada produksi gas metana. Jumlah COD *Loading* dan produksi gas metana ini dapat dihitung menggunakan persamaan [9]:

$$COD\ Loading\ \left(kg\frac{COD}{day}\right) = COD \times Daily\ POME\ Flowrate \times \frac{kg}{1.000.000\ mg} \times \frac{1000\ L}{m^3} \dots\dots (2.1)$$

$$Production\ of\ CH_4\ \left(Nm^3\frac{CH_4}{day}\right) = COD\ Loading \times COD_{eff} \times \frac{CH_4}{COD} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan keterangan :

COD_{eff} = Nilai efisiensi COD berada pada kisaran 80-95%

2.2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Pembangkit listrik tenaga (PLT) *hybrid* adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan dua atau lebih jenis sumber energi, bisa bersumber dari energi terbarukan

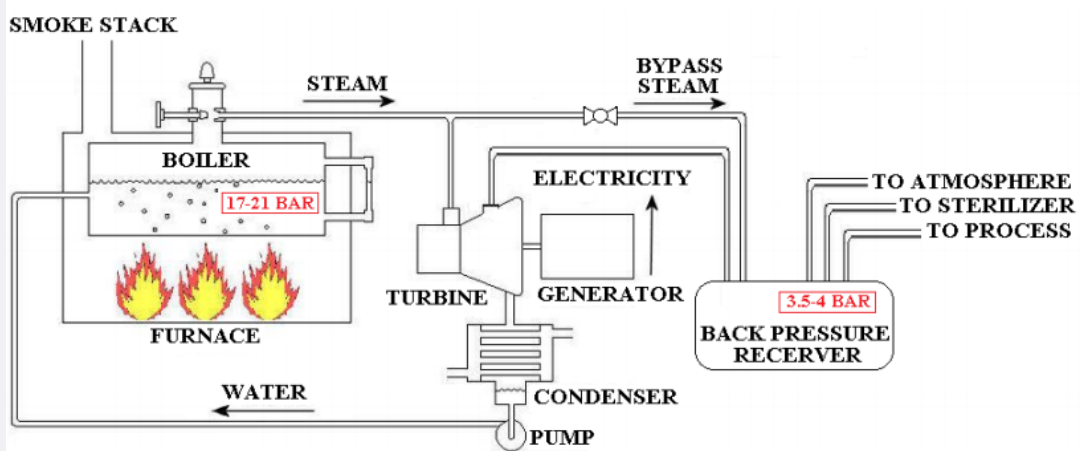
1. Diarahkan mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

maupun dari energi tidak terbarukan. Berdasarkan kelebihanannya, PLT *hybrid* dapat mengurangi emisi, dapat meningkatkan pasokan listrik, meningkatkan jangka umur sistem, mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik. Berdasarkan konfigurasi, PLT *hybrid* memiliki bentuk konfigurasi [27].

1. Konfigurasi Seri
2. Konfigurasi Paralel
3. Konfigurasi *Switched*

2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU adalah pembangkit listrik yang beroperasi dari tekanan uap yang berasal dari *boiler*. Bahan bakar pada sistem PLTU ini bisa dari energi fosil yang berupa batubara, maupun energi terbarukan atau energi biomassa. Bahan bakar biomassa pada *boiler* bermacam-macam. Umumnya yang digunakan adalah residu seperti serbuk gergaji, sekam padi, jerami gandum, batang jagung, ampas tebu. Adapun bahan bakar yang digunakan di PKS adalah serabut kelapa sawit dan cangkang sawit [28]. Siklus PLTU pada PKS dijelaskan pada Gambar 2. 10 sebagai berikut.



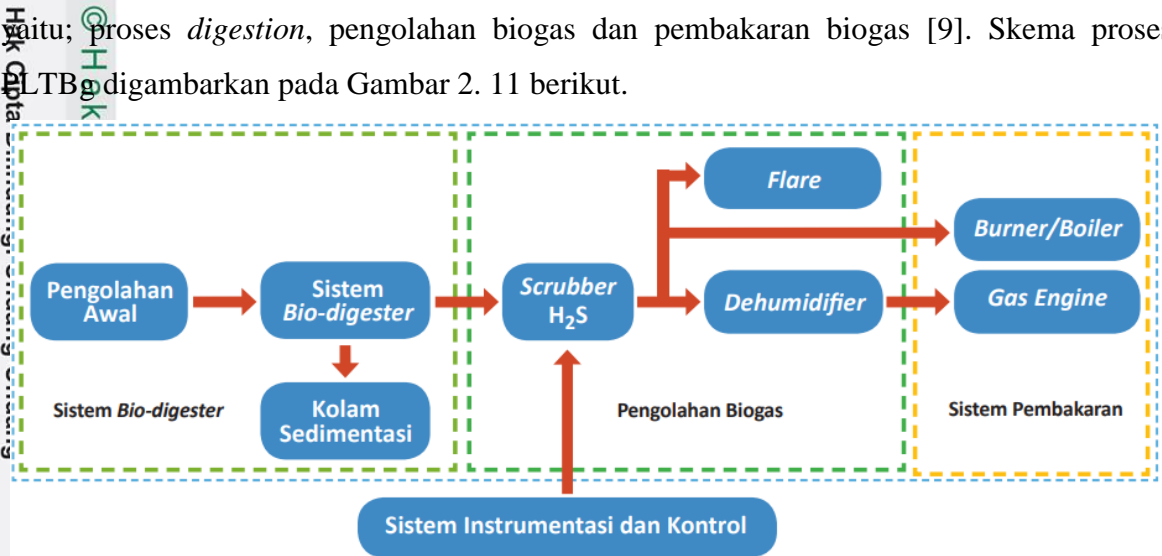
Gambar 2. 10 Proses Kerja PLTU Biomassa PKS [29]

Dalam menghasilkan listrik, PLTU biomassa mengoperasikan komponen utama yaitu *steam turbine*. Komponen ini dapat mengubah energi dalam uap bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi menjadi tenaga poros yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghidupkan generator dan menghasilkan tenaga listrik [30].

2.2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)

PLTBg adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan biogas sebagai sumber dari pembangkit listrik. Berdasarkan tahapan kerjanya, sistem PLTBg memiliki 3 langkah

1. Diarahkan mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 11 Skema pengolahan Biogas [9]

2.2.7.1 Digester

Digester adalah tempat pengolahan limbah yang bertujuan untuk menetralisasi pH limbah serta menangkap gas-gas terproduksi oleh limbah karena aktivitas mikroorganisme. Pada komponen pengolahan, POME dikondisikan untuk mencapai nilai parameter yang dibutuhkan untuk masuk ke dalam *digester*. Di dalam *digester* juga terjadi proses penyaringan dan pemusnahan benda yang lebih besar seperti kotoran atau serat. Suhu *digester* harus dijaga di bawah 40°C untuk kondisi suhu mesofilik yang optimal, oleh karena itu, suhu POME selanjutnya didinginkan dengan mendaur ulang air buangan *digester*. Berdasarkan jenisnya, *digester* yang sering ditemukan ada 2 [9]:

1. *Covered Anaerobic Lagoon (CAL)*

Kolam anaerobik tertutup adalah tempat penampungan dengan penutup lambung untuk menangkap biogas. Kolam anaerobik umumnya memiliki kontak bakteri ke substrat yang buruk, dengan kualitas pemrosesan yang rendah. Kolam anaerobik ini membutuhkan waktu retensi hidrolis sekitar 20–90 [9]. Biaya investasi untuk CAL biasanya lebih rendah daripada CSTR, tapi kekurangan CAL ini memerlukan lahan yang luas, bentuk CAL diilustrasikan pada Gambar 2. 12.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



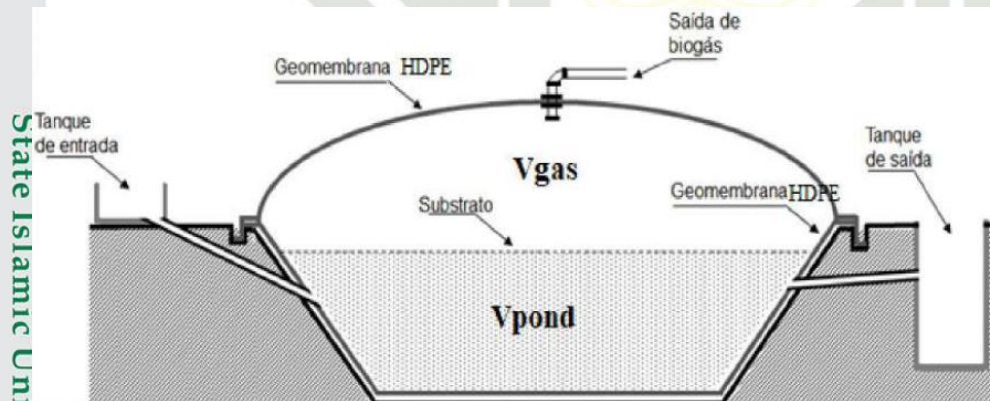
Gambar 2. 12 Covered Anaerobic Lagoon (CAL) [9]

Dalam pemilihan *digester*, tentu perlu perhitungan yang meliputi ukuran CAL, perhitungan desain sedimentasi CAL dapat dihitung dengan persamaan [31]:

$$V_{pond} (m^3) = HRT(day) \times Flowrate POME \left(\frac{m^3}{day}\right) \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

HRT : Durasi senyawa yang mudah larut berada di kolam (CAL memiliki waktu HRT sekitar 20-90 hari)



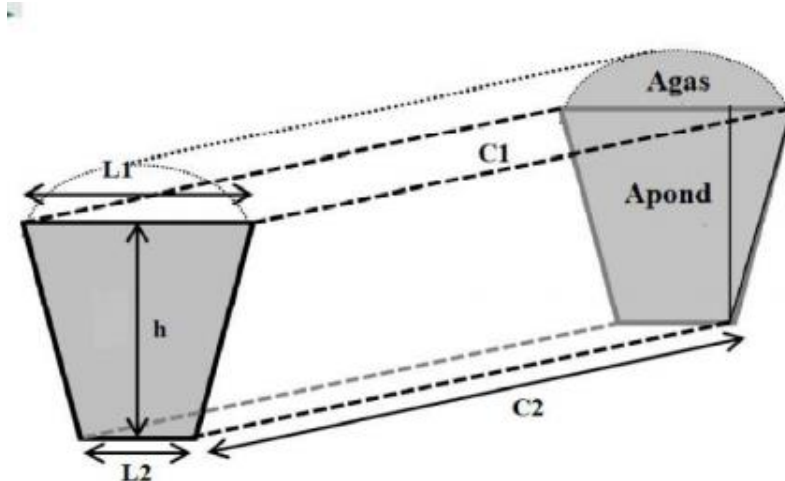
Gambar 2. 13 Desain volume CAL [31]

Pada Gambar 2. 13, V_{gas} merupakan tempat penampungan gas di dalam CAL, V_{pond} sebagai tempat sedimentasi pada CAL, V_{gas} dan V_{pond} ini memiliki konsentrasi masing-masing 20% dan 80% dari seluruh CAL, maka dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$V_{Digester} (m^3) = \frac{V_{pond} (m^3)}{80\%} \dots\dots\dots (2.4)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 14 Desain permukaan CAL [31]

Gambar 2. 14 di atas adalah bentuk CAL dalam bentuk geometris atau 3 dimensi digambarkan pada. Untuk mengukur luas membran pada penutup CAL dan luas CAL secara keseluruhan, dapat menggunakan persamaan [31]:

$$A_{pond} (m^2) = \left(\frac{1}{2} + \frac{L1+L2}{2} \times h \times 2 \right) + \left(\frac{1}{2} + \frac{C1+C2}{2} \times h \times 2 \right) + (C2 \times L2) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$A_{gas} (m^2) = \pi \frac{L1}{2} \left(\frac{L1}{2} + C1 \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

$$A_{total} (m^2) = A_{pond} (m^2) + A_{gas} (m^2) \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

- A_{total} : Total luas permukaan CAL (m^2)
- A_{pond} : Luas kolam CAL (m^2)
- A_{gas} : Luas membran CAL (m^2)
- $L1$: Lebar bagian atas kolam (m)
- $L2$: Lebar bagian bawah kolam (m)
- $C1$: Panjang bagian atas kolam (m)
- $C2$: Panjang bagian bawah kolam (m)
- h : Tinggi kolam (m)

2. *Continous Stirred Tank Reactor* (CSTR)

CSTR berbentuk berupa silinder beton atau logam dengan rasio tinggi-ke-diameter rendah. *Digester* ini melibatkan tahap konsentrasi biomassa, yang terdiri dari unit *thickener*, *clarifier*, dan *dissolved air flotation*, antara lain. CSTR dapat beroperasi pada suhu mesofilik atau bisa juga di suhu termofilik. CSTR dapat menggunakan pencampuran mekanis, hidrolik, atau injeksi gas. CSTR dapat menampung berbagai macam padatan.

Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

kekurangannya yaitu modal CSTR yang lebih mahal daripada CAL, dan biaya operasional terhadap stabilitas sistem dan keandalan produksi energi CSTR lebih tinggi daripada CAL. Waktu retensi hidrolik CSTR 20-40 hari, artinya lebih baik pemrosesannya, dan CSTR dapat mengolah limbah sawit yang berbentuk padat sekitar 3-10% [9]. Bentuk CSTR terdapat pada Gambar 2. 15.



Gambar 2. 15 *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* [9]

2.2.7.2 *Biogas Purifier*

Sebelum biogas digunakan sebagai bahan bakar *gas engine*, biogas perlu mengurangi konsentrasi H_2S ke tingkat sesuai standar *gas engine*, umumnya dengan konsentrasi di bawah 200 ppm. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya korosi, mengoptimalkan proses operasi, dan memperpanjang usia *gas engine*. H_2S dalam biogas berasal dari sulfat (SO_4^{2-}) dan komponen sulfur lainnya dalam air limbah, hal ini dikarenakan oleh proses *anerobic digestion* pada *digester* juga mengubah sulfat menjadi H_2S [9]. Bentuk *Biogas Purifier* diilustrasikan pada Gambar 2. 16 sebagai berikut.



Gambar 2. 16 H_2S Scrubber [9]

1. Diarahkan mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Umumnya PLTBg menggunakan komponen ini untuk menjaga umur *gas engine* sekaligus untuk memurnikan biogas [9]. Biogas memiliki LHV sebesar 16-28 MJ/kg [13], maka komponen ini dapat meningkatkan konsentrasi biogas yang mengakibatkan terjadinya peningkatan LHV menjadi 35.7 MJ/kg [9], sehingga hasil pembakaran menjadi optimal. Kinerja *biogas purifier* bergantung kepada spesifikasi dari jenis *biogas purifier* yang digunakan. Jenis-jenis *biogas purifier* yang tersedia di pasaran dijabarkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Spesifikasi *Biogas Purifier* [32]

Parameter	Pressure Swing Adsorption	Water Scrubbing	Chemical Scrubbing
Operation Pressure (bar)	0.4-1	0.4-1	0.1-0.2
Outlet Pressure (MPa)	0.4-0.5	0.7-1	0.4-0.5
Temperature (°C)	-	-	Hingga 180
Methane Loss (%)	<4	<2	<1
Methane Purity (%)	96-98	96-98	>99

2.2.7.3 Dehumidifier

Alat ini dapat berupa pengering yang dapat mengurangi kadar air dalam biogas untuk dialirkan ke dalam *gas engine*. Alat ini mengekstraksi air dari biogas. Sehingga mengoptimalkan proses pembakaran di *gas engine*, mencegah konsensasi, dan melindungi mesin dari pembentukan asam. Asam terbentuk saat air bereaksi dengan H_2S dan oksigen. Biogas berkualitas tinggi dengan kelembapan rendah dengan kelembapan relatif di bawah 80% meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi konsumsi bahan bakar gas [9]. Bentuk rupa *dehumidifier* diilustrasikan pada Gambar 2. 17 sebagai berikut.



Gambar 2. 17 *Dehumidifier* [9]



1. Hak Cipta dilindungi undang-undang. 2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber: a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah. b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Hak Cipta dilindungi undang-undang

©Hak Cipta dilindungi undang-undang

Model *dehumidifier* yang tersedia di pasaran dipilih berdasarkan *flow rate* biogas yang ada, adapun model-model *dehumidifier* yang tersedia di pasaran untuk PLTBg dijelaskan pada Tabel 2. 3 sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Model-model *Dehumidifier* [33]

Model	Biogas Flow Rate (m ³ /h)	Gas inlet connections	Gas outlet connections	Condensate removed (kg/h)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
skd60-007-R	60	DN80	DN40	3.1	3,750	1,700	1,615	1,982
skd105-010-R	105	DN80	DN40	5.4	3,750	1,700	1,625	1,982
skd165-014-R	165	DN125	DN50	8.5	3,750	1,700	1,615	2,040
skd265-024-R	265	DN125	DN50	13.5	3,750	1,700	1,615	2,040
skd240-029-R	240	DN125	DN50	12.8	4,900	1,800	1,594	2,100
skd360-039-R	360	DN200	DN100	19.3	4,900	1,800	1,562	2,567
skd510-057-R	510	DN200	DN100	27.3	4,900	1,800	1,580	2,567
skd720-076-R	720	DN200	DN100	38.5	5,382	2,200	2,214	2,587
skd1110-116-R	1,110	DN350	DN150	59.4	5,382	2,200	2,214	2,878
skd1620-116-R	1,350	DN350	DN150	68.5	5,382	2,200	2,214	2,878

2.2.7.4 Gas Flare

Gas Flare membakar gas berlebih di pabrik proses industri. Untuk alasan keamanan, instalasi biogas harus memiliki *gas flare* yang dipasang untuk membakar kelebihan biogas. Demikian juga saat mesin bensin sedang *offline* untuk pemeliharaan, biogas tidak punya tujuan. Instalasi biogas, tanpa *gas engine* atau *boiler*, harus menggunakan *gas flare* secara konstan untuk mengatur gasnya. Operator tidak boleh melepaskan kelebihan biogas langsung ke atmosfer karena sangat mudah terbakar apabila dalam konsentrasi tinggi dan juga dapat memicu emisi GRK [9].

Gas flare terbagi atas 2 jenis, yaitu *temporary gas flare* dan *enclosed gas flare*. *Temporary gas flare* biasanya digunakan di industri minyak dan gas selama penyelesaian sumur dan di pabrik industri selama kegiatan pemeliharaan tertentu atau *start up* dan *shutdown*. Sedangkan *enclosed gas flare* umumnya digunakan di tempat pembuangan sampah, pengolahan air limbah anaerobik dan lainnya. *Enclosed gas flare* ini memiliki *head burner* yang tertutup di dalam dinding yang terisolasi secara internal. Dinding atau *shell* ini mengurangi kebisingan, luminositas, dan radiasi panas dan memberikan perlindungan angin, yang membuat *enclosed gas flare* tetap terjaga ketika terjadinya

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

angguatan angin kencang [34]. Bentuk fisik *gas flare* dengan model *enclosed* pada Gambar 18 sebagai berikut.



Gambar 2. 18 *Gas Flare* [9]

Pemilihan *gas flare* untuk PLTBg ini dilakukan berdasarkan potensi *flow rate* biogas pada sistem PLTBg. Model *Gas Flare* tipe *enclosed* ini dijabarkan pada Tabel 2. 4 sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Model-model *Enclosed Gas Flare* [35]

Model	Gas Flow Rate (Nm ³ /h)	Initial Gas Pressure (mbar)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)
AST-EFF 300	300	80	6,500	960	4,500	3,000	1,350	1,420
AST-EFF 600	600	80	6,500	1,280	4,500	3,000	1,690	1,700
AST-EFF 800	800	80	6,500	1,440	4,500	4,000	1,900	1,810
AST-EFF 1000	1,000	80	7,000	1,590	5,000	4,000	2,170	2,130
AST-EFF 1500	1,500	100	7,000	1,760	5,000	4,000	2,290	2,300
AST-EFF 2000	2,000	100	7,700	1,920	5,500	4,000	3,210	2,440
AST-EFF 2500	2,500	100	8,200	2,070	6,000	4,000	3,330	2,600
AST-EFF 3000	3,000	100	8,200	2,240	6,000	4,000	3,470	2,770

2.2.7.5 *Gas Engine*

Gas engine adalah mesin pembakaran dalam yang menggunakan bahan bakar gas seperti gas alam atau biogas. Setelah proses produksi mengurangi kotoran dalam biogas ke tingkat tertentu, biogas dimasukkan ke mesin gas untuk menghasilkan listrik. Mesin gas yang dijalankan dengan biogas membutuhkan kadar air kurang dari 80% dan konsentrasi H₂S kurang dari 200 ppm; parameter ini tergantung pada spesifikasi mesin gas. *Gas engine* mengubah energi yang terkandung dalam biogas menjadi energi mekanik untuk

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Mengetikkan generator, yang menghasilkan listrik [9]. Umumnya *gas engine* memiliki efisiensi listrik antara 36–43%, bentuk fisik *gas engine* diilustrasikan pada Gambar 2. 19.



Gambar 2. 19 *Gas engine* [9]

Gas engine ini dipilih berdasarkan potensi gas biometana yang tersedia, perhitungan kapasitas daya *gas engine* yang dapat dibangkitkan dilakukan menggunakan persamaan [9] sebagai berikut.

$$\text{Generated Power Capacity (MWe)} = \frac{\text{CH}_4 \text{ Production} \times \text{CH}_{4\text{lev}} \times \text{Gen}_{\text{eff}}}{24 \times 60 \times 60} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan keterangan :

Gen_{eff} = Nilai efisiensi *gas engine* berada pada kisaran 38-42%.

2.2.8 Emisi Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas-gas yang menyebabkan terjadinya pemanasan global akibat terperangkapnya gas-gas tersebut. Gas-gas ini dapat tercipta dari aktivitas manusia maupun aktivitas industri. Berdasarkan pengelompokannya, gas rumah kaca contohnya H_2S , CO_2 , CO , CH_4 dan N_2O . *Global Warming Potential* (GWP) merupakan indeks yang dapat memperkirakan potensi suatu gas dalam memerangkap panas, GWP setiap gas rumah kaca berbeda-beda. Dalam PKS umumnya salah satu emisi GRK yang paling berpotensi dalam memerangkap panas yaitu gas metana, untuk membandingkannya perlu dilakukan perbandingan gas emisi rumah kaca tersebut dengan indeks gas metana [9]. Berdasarkan perbandingannya, perbedaan GWP emisi gas rumah kaca diilustrasikan pada Tabel 2. 5.



Tabel 2.5 Indeks *Global Warming Potential* (GWP) berdasarkan jenis GRK [9]

No	Senyawa	Rumus Kimia	GWP dalam rentang waktu			
			20 Tahun	100 Tahun	100 Tahun	500 Tahun
1	Karbon dioksida	CO ₂	1	1	1	1
2	Metana	CH ₄	72	21	25	7.6
3	Dinitrogen Oksida	N ₂ O	289	310	298	153

2.8.1 Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

Dalam menghitung penurunan emisi GRK dari suatu proyek, terdapat faktor yang dapat berpotensi dalam emisi GRK seperti PLTD dan akibat pemanfaatan gas metana dari POME. Maka dari itu perlu dilakukan perhitungan potensi emisi GRK atas faktor-faktor ini [9].

- Potensi penurunan emisi CO₂ dari serabut dan cangkang sawit

Dalam industri sawit, PKS mengoperasikan *boiler* berbahan bakar serabut dan cangkang sawit untuk menghasilkan uap menuju *steam turbine*. Proses ini menghasilkan gas CO₂ yang merupakan salah satu gas emisi GRK. Perhitungan emisi gas CO₂ dari pembakaran serabut dan cangkang sawit ini dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Emisi CO}_2\text{PLTU Biomassa} = \text{Listrik per tahun (MWh)} \times \text{Emission Factor} \left(\frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \right) \dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

Emission Factor Serabut dan cangkang sawit sebesar 0.748 tCO₂/MWh [28]

- Potensi penurunan emisi CO₂ dari diesel

Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan gas karbon dioksida, potensi emisi GRK bahan bakar fosil tentu berbeda-beda, potensi emisi gas ini tentu juga bergantung terhadap pengoperasian PLTD yang diprediksi pada tahun proyek. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan akibat substitusi diesel dengan persamaan:

$$\text{Emisi CO}_2\text{PLTD} = \text{Listrik per tahun (MWh)} \times \text{Emission Factor} \left(\frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

Emission Factor Diesel sebesar 0.0002786 (tCO₂/MWhMFO) [31]

- Potensi penurunan emisi CO₂ dari gas metana

Proses pembakaran gas metana pada *gas engine* memang menghasilkan gas karbon dioksida yang juga bagian dari emisi GRK, namun nilai GWP dari gas metana 21 kali lebih berbahaya daripada gas karbon dioksida, sehingga gas metana perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi gas karbon dioksida melalui pembakaran, dan hasil dari



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Perhitungan produksi CH_4 dalam bentuk m^3 perlu dikonversi menjadi bentuk Kg untuk mempermudah perhitungan mengikuti persamaan:

$$\text{Massa Gas metana (Kg)} = \text{Jumlah Gas Metana (m}^3\text{)} \times \text{Massa Jenis Metana (}\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\text{)} \dots\dots (2.11)$$

Jeterangan :

$$\text{Massa jenis gas metana} = 0.657 \text{ kg/m}^3$$

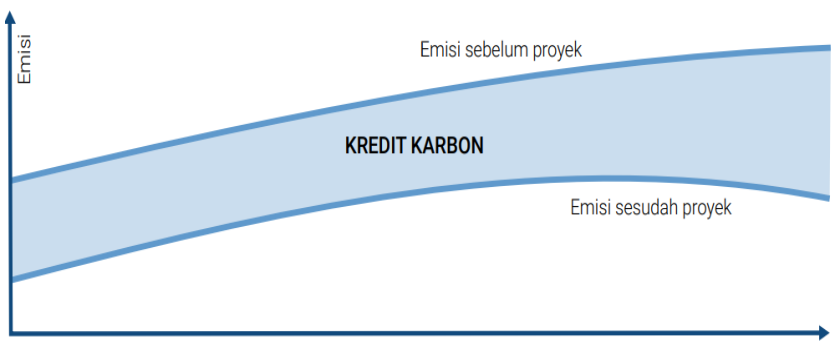
$$\text{Emisi CO}_2(\text{tCO}_2)\text{Metana} = \text{Methane Production (Kg)} \times \text{GWP} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (2.12)$$

Jeterangan :

$$\text{GWP} = \text{Global Warning Potential CH}_4 \text{ dengan nilai 21 [9].}$$

2.2.9 Carbon Credit

Carbon credit adalah izin yang diberikan kepada industri secara legal mengeluarkan sejumlah karbon dioksida tertentu dan jumlah yang berbeda. *Carbon credit* dihitung berdasarkan selisih emisi pada keadaan sebelum adanya proyek dan keadaan setelah adanya proyek. Untuk tujuan perdagangan, satu tunjangan dianggap setara dengan satu metrik ton emisi CO_2 (tCO_2e). Tunjangan ini dapat dijual secara pribadi atau di pasar internasional dengan harga pasar yang berlaku [19]. Grafik *carbon credit* ini dijelaskan pada Gambar 2. 20 sebagai berikut.



Gambar 2. 20 *Carbon Credit* [36]

2.2.9.1 Penjualan Carbon Credit

Dari hasil *carbon credit* pada program CDM, perusahaan yang dapat menurunkan emisi karbon dioksida akan mendapatkan dana insentif dalam upaya penurunan emisi GRK. Hingga saat ini, harga emisi karbon adalah 9.90 USD/ tCO_2 [19]. Hasil penjualan CER untuk Indonesia ini dapat dihitung mengikuti persamaan [9]:

$$\text{Biaya CER} = \text{Penurunan Emisi gas CO}_2(\text{tCO}_2) \times \text{Harga CER (USD)} \times \text{Kurs IDR} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.2.10 Aspek Ekonomi *Hybrid Power Plant*

Dalam membangun proyek pembangkit listrik tenaga *hybrid* tentu diperhitungkan dalam aspek ekonomi apakah proyek perlu dilanjutkan atau tidak. Melayakan proyek dalam aspek ekonomi terbagi atas aspek biaya dan aspek finansial.

2.2.10.1 Pembiayaan

Analisis aspek ekonomi sebuah proyek melibatkan biaya investasi awal, biaya operasi dan perawatan dan biaya pergantian barang dari suatu proyek. Biaya-biaya yang melibatkan pada proyek *hybrid power plant* ini adalah sebagai berikut [15].

1. **Initial Cost**

Initial cost atau biaya awal adalah total jumlah biaya awal yang diperlukan hingga proyek dapat diimplementasikan. Biaya ini terdapat di tahun pertama proyek sebagai biaya modal yang mencakup biaya seluruh komponen pada proyek, biaya pengerjaan proyek dan lain-lain.

2. Operational And Maintenance (O&M) Cost

Biaya O&M adalah biaya operasional dan perawatan yang dikeluarkan ketika pembangunan proyek sudah selesai dan dikeluarkan secara periodik dengan jumlah yang pada umumnya sama setiap tahunnya. Contoh biaya O&M seperti biaya perawatan *digester*, biaya perawatan *scrubber* dan lain-lain.

3. Replacement Cost

Replacement Cost atau biaya pergantian komponen adalah biaya yang dikeluarkan ketika adanya pergantian komponen selama usia proyek. Biaya ini dikeluarkan setiap waktu tertentu dan umumnya dilakukan pada periode waktu yang panjang.

4. *Net Present Cost (NPC)*

NPC atau biaya siklus hidup adalah total dari penjumlahan seluruh biaya investasi awal, biaya O&M, dan *replacement cost* selama umur proyek. HOMER Pro menghitung total NPC dengan menjumlahkan *total discounted cash flows* pada setiap tahun selama umur proyek [15].

5. *Levelized Cost Of Energy (LCOE)*

LCOE adalah harga daya listrik yang dihasilkan per satuan kWh berdasarkan jumlah daya listrik yang dihasilkan dan seluruh biaya dari sebuah proyek selama umur proyek. Berdasarkan buku pedoman HOMER [15], LCOE dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{LCOE} = \frac{C_{\text{Annual, total}} - C_{\text{Boiler}} H_{\text{Served}}}{E_{\text{Served}}} \quad (2.14)$$



2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

Dengan keterangan :

C_{Annual}^{Total} : Total biaya tahunan sistem (Rp/tahun)

$C_{boiler}^{marginal}$: Biaya *marginal boiler* (Rp/kWh)

$H_{thermal}^{served}$: Total beban termal tahunan yang dilayani (kWh/tahun)

$H_{electric}^{served}$: Total beban listrik tahunan yang dilayani (kWh/ tahun)

Satuan kurs tentu berbeda di setiap negara. Pembilang pada persamaan ini

bertanggung jawab untuk melayani beban termal. Jika sistem tidak melayani beban termal,

jika $C_{boiler}^{marginal} H_{thermal}^{served} = 0$.

2.2.10.2 Kelayakan Investasi

Dalam menganalisis kelayakan investasi sebuah proyek, diperlukan beberapa metode sebagai berikut.

1. *Net Present Value* (NPV)

NPV adalah sebuah metode yang dilakukan untuk menghitung selisih antara nilai modal atau *Cash In Flow* (CIF) dengan *Cash Out Flow* (COF). Harga pada masa lalu tentu berbeda apabila dibandingkan dengan masa sekarang. Dalam menghitung PV, diperlukan tingkat bunga yang relevan. Nilai NPV dihitung menggunakan persamaan [14], [37]:

$$NPV = \sum CIF - COF \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan keterangan:

CIF = *Cash In Flow* (Rupiah)

COF = *Cash Out Flow* (Rupiah)

a. *Cash In Flow* (CIF)

CIF adalah parameter yang menyatakan uang masuk selama umur proyek, berupa pendapatan dari *carbon credit* dan pendapatan lainnya seperti penjualan listrik. Yang dikenal arus kas yang dihasilkan dari suatu proyek dihitung menggunakan persamaan [14], [31]:

$$CIF = \sum_{t=0}^n (Cash From CER + Cash Saved From PLTD) \times (1 + i) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan keterangan:

i = Suku bunga bank (%)

CER = *Certified Emission Reduction* (Rupiah)

Cash Saved = Uang yang tersimpan karena substitusi PLTD (Rupiah)



2. Dilarang mengutip sebagian dan memberikan sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. *Cash Out Flow* (COF)

COF adalah parameter yang menyatakan uang keluar selama umur proyek, berupa biaya modal awal, biaya O&M, pergantian komponen, dan biaya pengeluaran lainnya.

Perhitungan faktor PV mengikuti persamaan [38]:

$$COF = \sum_{t=0}^n Annual\ Cost \times PWF \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan keterangan:

PWF = *Present Worth Factor* (%)

Annual Cost = Biaya tahunan proyek (Rupiah)

Persamaan diatas digunakan apabila terdapat biaya pengeluaran biaya yang konstan dan rutin, maka *Present Worth Factor* (PWF) juga dilibatkan, PWF dihitung menggunakan persamaan [31]:

$$PWF = \left(\frac{1+a}{1+i} \right)^n \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan keterangan:

PWF : *Present Worth Factor* (%)

i : Suku bunga bank (%)

n : Tahun ke n (Tahun)

a : Inflasi (%)

Dari hasil persamaan ini, nilai NPV yang dihasilkan akan menjadi tolok ukur kelayakan sebuah proyek, dengan ketentuan sebagai berikut.

- a) Nilai NPV > 0 : Proyek menguntungkan dan layak
- b) Nilai NPV = 0 : Proyek tidak menguntungkan dan tidak merugikan
- c) Nilai NPV < 0 : Proyek merugikan dan tidak layak

2. *Payback Period* (PBP)

PBP adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk pengembalian modal dari suatu proyek. Artinya PBP merupakan rasio antara biaya modal dengan arus kas masuk pada suatu proyek. Kelebihan metode PBP yaitu dapat digunakan sebagai pertimbangan risiko, karena apabila jangka pengembalian modalnya pendek, maka peluang terjadinya kerugian sedikit, sebaliknya apabila jangka pengembalian modalnya panjang maka peluang terjadinya kerugian besar. Perhitungan PBP mengikuti persamaan [39]:

$$PBP = (n - 1) + [Initial\ Cost - \sum_{1}^{n-1} An] \times \left(\frac{1}{An} \right) \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

An : *Present Value* di Tahun ke-n



2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

berikut

- Waktu PBP > Usia Proyek : Proyek merugikan dan tidak layak
- Waktu PBP = Usia Proyek : Proyek tidak menguntungkan dan tidak merugikan
- Waktu PBP < Usia Proyek : Proyek menguntungkan dan layak

Internal Rate Of Return (IRR)

IRR adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengukur tingkat pengembalian hasil, sama halnya dengan NPV, perbedaannya adalah nilai bunga pada IRR tidak diketahui dan perlu dicari dengan cara *trial* dan *error*. Suku bunga percobaan dihitung berdasarkan hasil perhitungan yang menunjukkan nilai NPV₁ bernilai + mendekati 0, dan NPV₂ bernilai (-) mendekati 0. Persamaan yang digunakan untuk menghitung IRR setelah mendapatkan nilai NPV₁ dan NPV₂ yaitu [14]:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \dots \dots \dots (2.20)$$

Dengan keterangan :

- IRR = tingkat pengembalian internal
 NPV₁ = PV bersih *discount rate* i₁
 NPV₂ = PV bersih *discount rate* i₂
 i₁ = *discount rate* percobaan pertama
 i₂ = *discount rate* percobaan kedua

Dari hasil persamaan ini, IRR menjadi tolok ukur kelayakan sebuah investasi dengan ketentuan:

- Nilai IRR > Suku Bunga Pertama : Proyek layak dan menguntungkan
- Nilai IRR = Suku Bunga Pertama : Proyek tidak menguntungkan/merugikan
- Nilai IRR < Suku Bunga Pertama : Proyek tidak layak dan merugikan

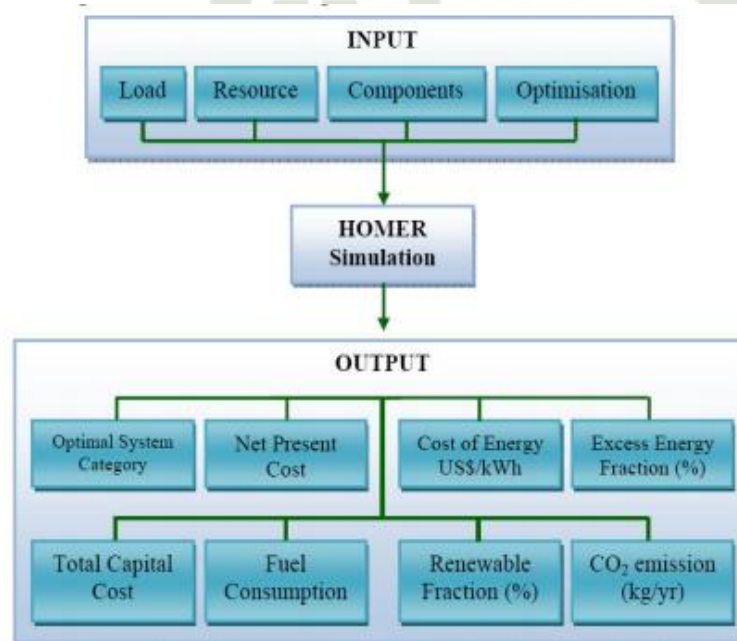
Maka dengan mempertimbangkan parameter-parameter kelayakan proyek yang meliputi NPV, PBP dan IRR ini, dapat menentukan layak atau tidaknya sebuah proyek dalam aspek ekonomi [37].

2.2.11 HOMER Pro

Pada sub bab ini, dijelaskan mengenai *software* HOMER Pro dari kegunaannya, sistem kerjanya, data-data yang diperlukan dan *output* data yang dihasilkan. *Hybrid Optimisation Model For Electric Renewables* (HOMER) Pro merupakan suatu *software* yang dapat mendesain dan menganalisis sistem pembangkit listrik *hyrbid*. *Software* ini

1. Dapat mensimulasikan dan mengoptimalisasikan sistem tenaga listrik *on grid* maupun *off grid* dengan berbagai kolaborasi jenis pembangkit listrik seperti turbin angin, *hydro power*, *photovoltaic*, *electrolizer*, genset, pembangkit listrik *custom* dan lain-lain. Pemilihan komponen-komponen ini dilakukan berdasarkan potensi energi yang ada di suatu daerah.

Software ini dapat mempermudah peneliti untuk melakukan analisis teknis dan ekonomi dalam proyek umur panjang. Dari aspek teknis, peneliti dapat menganalisis performa sistem pembangkit listrik dan *output* energi yang dihasilkan dari sistem. Pada aspek ekonomi, peneliti dapat mengetahui nilai *Net Present Cost* (NPC) berdasarkan nilai pengeluaran uang selama umur proyek dan nilai jual energi atau *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) selama umur proyek [27]. Hasil simulasi *software* ini merekomendasikan komponen yang paling efektif digunakan pada sistem pembangkit listrik baik dari aspek teknis maupun aspek ekonomi. *Input* dan *output* HOMER Pro dijelaskan pada Gambar 2.21 sebagai berikut.



Gambar 2.21 *Input* dan *Output* dalam Simulasi HOMER Pro [27]

2.2.11.1 *Input* Data HOMER Pro

Dalam *software* HOMER pro, *input* data sangat diperlukan sebagai bahan dalam simulasi. *Input* data yang diperlukan pada HOMER Pro yaitu sebagai berikut .

1. *Input* Beban/*load*

Berdasarkan bebannya, beban terbagi atas 2; beban termal dan beban listrik, beban listrik dan beban termal akan disajikan dalam bentuk per jam, per hari hingga per



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

bulan yang bisa disesuaikan dengan profil beban di lokasi penelitian, dan grafik profil beban langsung ditampilkan pada parameter *input* ini. Untuk beban listrik, pada parameter *input* ini juga terdapat pemilihan *electrical bus* sesuai beban listrik di lokasi penelitian.

Input Sumber Daya/resources

Input resources ini meliputi potensi angin, bahan bakar, potensi air, potensi biomassa, potensi matahari, potensi suhu, potensi hidrogen dan lain-lain. Pemasukkan data dapat dilakukan secara manual yang didapatkan di luar *software* HOMER Pro, seperti bahan bakar minyak atau gas yang juga dapat ditentukan *Lower Heating Value* (LHV) sesuai spesifikasinya. Selain itu, pada parameter di HOMER Pro ini juga terdapat data yang berasal dari *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) seperti data temperatur, *Global Horizontal Irradiation* (GHI), *Direct Normal Irradiance* (DNI), dan kecepatan angin. Parameter *input* ini digunakan untuk dianalisis besarnya *output* energi yang dihasilkan dari suatu pembangkit listrik.

3. *Input Komponen*

Input komponen ini meliputi komponen apa saja yang digunakan, komponen-komponen ini meliputi baterai, *photovoltaic*, *converter*, *boiler*, genset, tanki hidrogen dan lain-lain. Pemilihan komponen ini disesuaikan dengan spesifikasi komponen dari aspek teknis dan ekonominya. Aspek teknis meliputi daya maksimum dari komponen dan performa sistem, sementara aspek ekonomi meliputi harga komponen, biaya perawatan dan operasional komponen tersebut

4. *Input Ekonomi*

Parameter *input* ini mencakup seluruh parameter ekonomi di luar komponen sistem. Parameter ini meliputi nilai inflasi, suku bunga dan biaya komponen lain dari sistem pembangkit listrik.

2.2.11.2 Output HOMER Pro

Output dari simulasi HOMER Pro menunjukkan kinerja *software* ini. Adapun *output* yang dapat dilakukan HOMER Pro terbagi sebagai berikut .

1. Simulasi

Simulasi menentukan suatu kelayakan ekonomi pembangkit listrik berdasarkan nilai LCOE dan NPC. Nilai-nilai ini dianalisis berdasarkan data-data *input* seperti



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

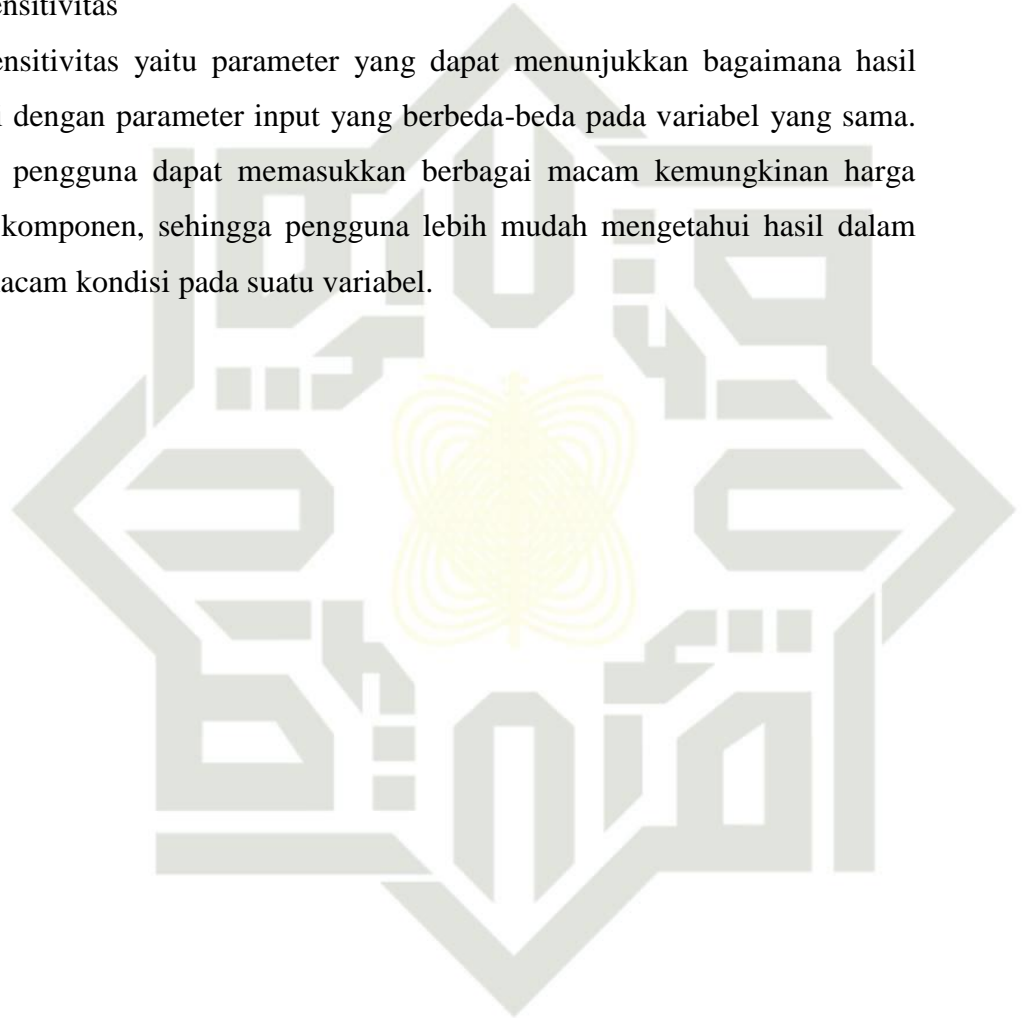
resources, component dan *load*. Dalam aspek ekonomi juga diperlukan nilai inflasi pada suatu negara, *discount rate*, dan parameter ekonomi lainnya.

Optimalisasi

Optimalisasi akan memilih sistem konfigurasi yang terbaik, yaitu konfigurasi sistem yang memiliki NPC dan LCOE terendah, HOMER Pro memperhitungkan dan memilih berdasarkan sistem pembangkit yang paling optimal.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas yaitu parameter yang dapat menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi dengan parameter input yang berbeda-beda pada variabel yang sama. Contohnya pengguna dapat memasukkan berbagai macam kemungkinan harga dari suatu komponen, sehingga pengguna lebih mudah mengetahui hasil dalam berbagai macam kondisi pada suatu variabel.



UIN SUSKA RIAU



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian kuantitatif didefinisikan sebagai penelitian sistematis terhadap permasalahan dengan mengumpulkan data yang dapat dihitung dan menghasilkan berupa data numerik. Pendekatan deskriptif merupakan pendekatan yang dilakukan berdasarkan situasi atau fenomena yang terjadi pada objek penelitian. Penulis melakukan penelitian ini dengan mendeskripsikan objek penelitian berdasarkan fenomena dan data yang terkumpul yang dianalisis sehingga memberikan hasil penelitian berupa data numerik.

3.2 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini, penulis mengikuti prosedur penelitian yang diawali dengan pemilihan lokasi berdasarkan buku yang diterbitkan Badan Pusat Statistik (BPS), yang menyatakan industri kelapa sawit sebagai komoditas penyumbang angka ekspor terbesar di Indonesia. Lalu penulis melalui tahapan perencanaan dari studi pendahuluan untuk mendapatkan informasi tentang lokasi penelitian, mengidentifikasi permasalahan, studi lapangan serta mengumpulkan data primer dan data sekunder, dan studi literatur untuk menemukan keterbaruan riset yang tidak terdapat di penelitian-penelitian terkait.

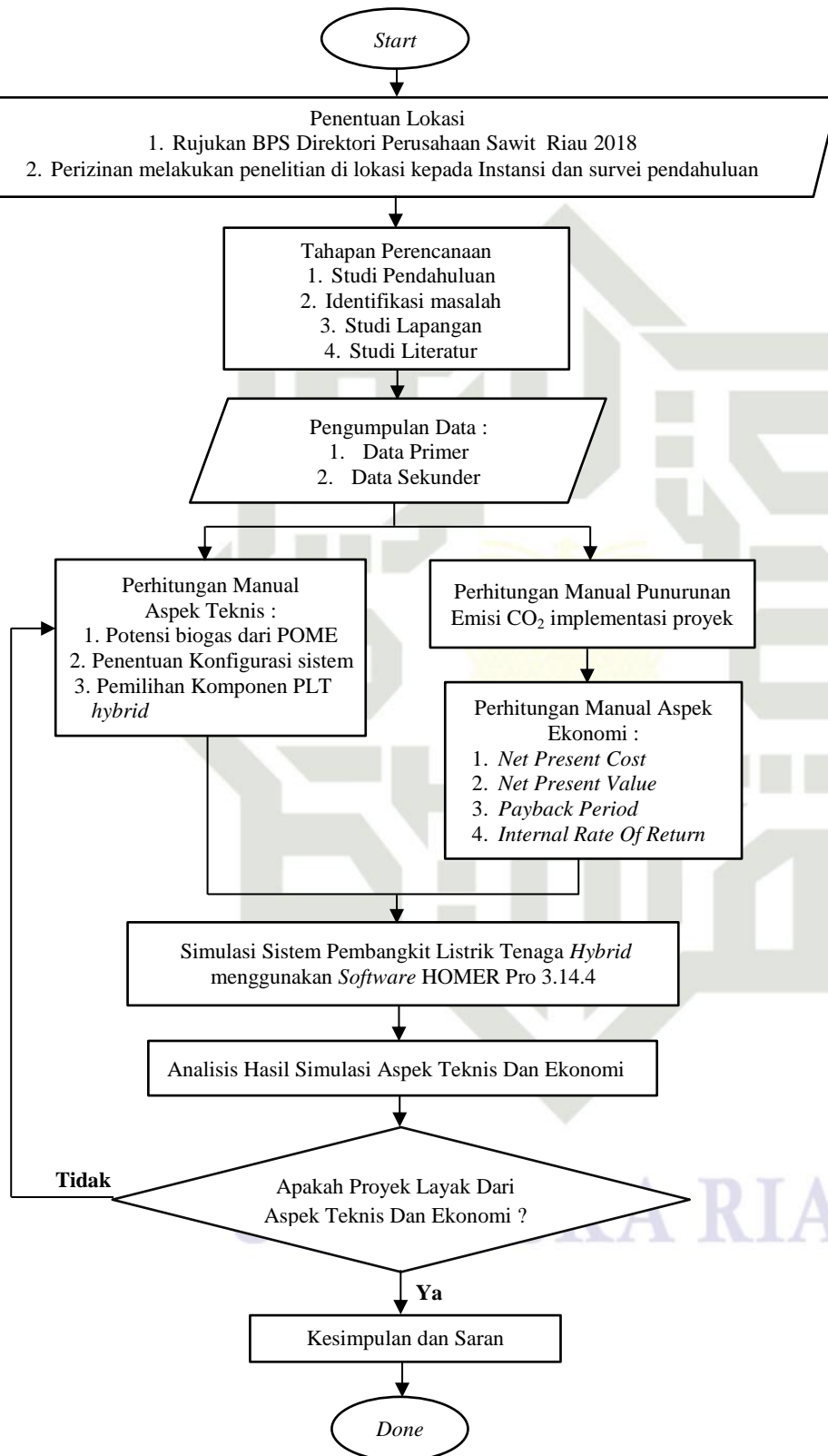
Dengan data primer dan sekunder, penulis melakukan *forecasting* data konsumsi listrik dan jumlah *flow rate* POME di tahun implementasi proyek (2022) menggunakan metode *time series software* Minitab 16. Dari data *flow rate* POME dan konsumsi listrik yang diprediksi, penulis melakukan perhitungan manual pada aspek teknis; potensi gas metana dari limbah POME dan memilih desain/ukuran pembangkit listrik. Selanjutnya penulis melakukan perhitungan manual pada aspek emisi yang meliputi penurunan emisi CO₂ akibat substitusi PLTD dan pemanfaatan gas metana oleh implementasi proyek. Setelah itu, penulis melakukan perhitungan manual pada aspek ekonomi yang meliputi CIF dari biaya CER dan *cash saved* akibat substitusi PLTD, dan COF dari NPC, dan aspek kelayakan investasi yang meliputi NPV, PBP, dan IRR selama umur proyek.

Setelah penulis menyesuaikan komponen dengan harganya, maka penulis melakukan simulasi HOMER Pro 3.14.4. Dari hasil perhitungan manual dan simulasi HOMER Pro, penulis dapat menganalisis kelayakan pembangkit listrik tenaga *hybrid*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Aspek teknis dan ekonomi hingga terbukti layak dan diakhiri dengan penulisan simpulan dan saran. Alur penelitian ini digambarkan pada *flow chart* sebagai berikut.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian



© Hak cipta milik UIN Suska Riau

3.3 Pemilihan Lokasi Penelitian

Alasan dipilihnya perusahaan ini sebagai objek penelitian adalah sebagai berikut.

Angka produksi TBS PKS V Sei Galuh setiap tahunnya mengalami peningkatan yang menekan konsumsi energi listrik perusahaan setiap tahunnya.

Pengoperasian PLTD yang menekan biaya pengeluaran dan dapat mengurangi cadangan energi fosil.

Pelepasan gas metana dari limbah POME PKS Sei Galuh dapat menyebabkan terjadinya emisi GRK yang dapat mencemari lingkungan, perusahaan ini belum memanfaatkan potensi gas metana dari limbah POME untuk dijadikan sebagai sumber energi.

Potensi biogas yang terlepas dari limbah POME berperan positif untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar PLTBg, sejalan dengan cita-cita DEN dalam menargetkan penggunaan EBT 23% di tahun 2025.

3.4 Tahapan Perencanaan

Dalam melakukan penelitian, tahapan perencanaan penting dipersiapkan untuk memperjelas langkah-langkah sebelum melakukan penelitian. Tahapan perencanaan yang disusun pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi Pendahuluan

Pada tahapan ini, penulis menjabarkan pendahuluan untuk menemukan latar belakang masalah dari penelitian, rumusan masalah sebagai pokok bahasan dari penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah agar topik penelitian tidak melebar dan manfaat penelitian. Pendahuluan ini bertujuan untuk mempermudah penulis dalam menemukan masalah dan memecahkan masalah yang ada di objek penelitian. Data-data yang penulis peroleh pada pendahuluan ini bersumber dari hasil wawancara, *website* resmi perusahaan, *data sheet* perusahaan dan pengamatan langsung di perusahaan dijabarkan sebagai berikut.

- Konsumsi listrik PTPN V Sei Galuh berasal dari beban listrik pengolahan, pencahayaan, kantor & mushola, bengkel & laboratorium, dan instalasi air, serta perumahan karyawan. Seluruh beban listrik PKS ini disuplai oleh PLTU biomassa dan PLTD, sedangkan beban listrik perumahan karyawan disuplai oleh PT.PLN.
- PTPN V Sei Galuh mengalami peningkatan angka produksi TBS yang meningkatkan angka konsumsi listrik PKS di tahun 2019 hingga tahun 2020.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- c. PTPN V Sei Galuh memiliki *flow rate* limbah POME yang besar yakni sekitar 600 m³/hari yang memiliki potensi dalam pemanfaatan biogas dari limbah POME.
- d. PTPN V Sei Galuh mengoperasikan PLTD pada situasi kondisional, yaitu pada saat *starting* pengoperasian *boiler* di saat *steam turbine* belum beroperasi.
- e. PTPN V Sei Galuh memiliki angka produksi TBS yang kurang stabil dalam periode harian. Namun produksi TBS tetap stabil dan meningkat dalam periode tahunan.
- f. PTPN V Sei Galuh memiliki program peningkatan produksi TBS yang dapat menjamin *sustainability* jumlah limbah POME.
- g. Pihak PTPN V Sei Galuh mengeluhkan permasalahan emisi GRK dari sistem IPAL kolam terbuka.
- h. Pihak PTPN V Sei Galuh mengeluhkan besarnya biaya perawatan dan operasional PLTD.
2. Identifikasi Masalah
Tahapan ini bertujuan untuk menentukan permasalahan apa yang ada di PTPN V Sei Galuh untuk dipecahkan pada penelitian. Dari studi pendahuluan yang telah dilakukan, penulis mengidentifikasi permasalahan di PTPN V Sei Galuh hingga saat ini yaitu peningkatan beban listrik PKS setiap tahun, penggunaan PLTD berbiaya O&M yang besar, dan pelepasan emisi GRK akibat sistem *open pond* POME yang dapat mencemari lingkungan.
3. Studi Lapangan
Pada tahapan ini, penulis melakukan observasi langsung di PTPN V Sei Galuh dengan mengikuti protokol kesehatan COVID-19 dan aturan-aturan perusahaan yang ada. Studi lapangan ini bertujuan untuk mengamati secara langsung kondisi dan permasalahan di PKS, serta melakukan wawancara kepada pihak perusahaan dan melakukan pengumpulan data sekunder sesuai izin perusahaan dalam penyelesaian penelitian.
4. Studi Literatur
Studi literatur merupakan pengkajian penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki *research gap* sebagai keterbaruan riset dari penelitian yang dilakukan. Tahapan ini berguna bagi penulis sebagai referensi penelitian dari landasan teori dan metode yang digunakan pada penelitian ini. Studi literatur yang didapatkan berisikan penelitian-penelitian yang berkaitan tentang analisis kelayakan pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* dari aspek teknis dan ekonomi.



5

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Pengumpulan Data

Pada tahapan ini, penulis melakukan pengumpulan data yang diperlukan sebagai *input* untuk mensimulasikan proyek pembangkit listrik pada *software* HOMER Pro dan untuk perhitungan manualnya. Berdasarkan jenisnya, penelitian ini memiliki dua jenis data yang digunakan sebagai berikut.

Data Primer

Data-data primer pada penelitian ini didapatkan dari hasil wawancara langsung kepada pihak PTPN V Sei Galuh yang dilakukan secara *offline* dan *online* serta pencatatan data langsung dari *display* komponen PKS.

Tabel 1. Data Primer Penelitian Beserta Sumber Data

No.	Data yang Diperoleh	Sumber Data
1	Permasalahan emisi GRK dari limbah POME sistem <i>open pond</i> , kebutuhan kelistrikan PKS per ton TBS.	Wawancara kepada Kepala Sub Bagian Perencanaan Korporasi & Manajemen Kerja PTPN V.
2	Sumber energi listrik PTPN V SGH, kapasitas pembangkit listrik, waktu operasional PKS, profil beban listrik PKS, masalah sistem <i>open pond</i> IPAL POME yang memicu emisi GRK di atmosfer.	Wawancara kepada Asisten Teknik dan Manajer PKS SGH PTPN V.
3	Waktu operasional PLTD, Frekuensi dan Biaya operasional dan perawatan PLTD, dan alasan penggunaan PLTD pada waktu tertentu.	Wawancara kepada Kepala Bagian Teknik PKS SGH PTPN V.
4	Langkah-langkah yang dilakukan dalam peningkatan produksi TBS, Program peningkatan produksi TBS PTPN V SGH	Wawancara kepada Asisten Pengendalian Mutu PKS SGH PTPN V.

Data Sekunder

Data-data sekunder pada penelitian ini bersumber dari PTPN V Sei Galuh, *Marketplace*, penelitian-penelitian, dan *Website* Resmi.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 3.2 Data Sekunder Penelitian Beserta Sumber Data

No.	Data yang Diperoleh	Sumber Data
1	Beban listrik PKS, Konsumsi Solar, Jam operasi pembangkit listrik, <i>flow rate inlet</i> limbah POME, dan nilai COD POME.	<i>Data sheet</i> dari Laporan Tahunan PTPN V Sei Galuh yang diperoleh dari Kepala Bagian Teknik dan Kepala Bagian Limbah PTPN V Sei Galuh.
2	Biaya komponen dan spesifikasi komponen	<i>Marketplace</i>
3	Harga sertifikat CER	[19]
4	Nilai Mata uang, Nilai <i>Discount Rate</i> dan Nilai Inflasi di Indonesia	<i>Website</i> Resmi BI [40]
5	Biaya Penyediaan Pokok Pembangkitan	[41]
6	Harga Solar Non-Subsidi	[42]

3.5.1 Pengolahan Data Menggunakan *Software* Minitab 16

Pada tahap ini, penulis menggunakan *Software* berbasis statistika yaitu Minitab 16 untuk memprediksi data di tahun implementasi proyek agar hasil lebih akurat dan jelas. Alasan dipilihnya *software* Minitab 16 ini karena *software* ini dapat menentukan hasil *forecasting* lebih mudah dan akurat, karena *output* dilengkapi dengan *error* sebagai pengukuran tingkat akurasi, sehingga penulis dapat memilih hasil *forecasting* dengan *error* terendah. Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode *time series* untuk memprediksi konsumsi energi listrik dan produksi POME pada tahun implementasi (2022).

3.5.1.1 Prediksi Konsumsi Energi Listrik

Data profil beban listrik PKS SGH didapatkan berdasarkan hasil wawancara di lokasi dan diperoleh berupa *data sheet*. *Steam turbine* yang sudah ada memang digunakan untuk memenuhi permintaan energi listrik sektor PKS, namun permintaan energi listrik pada sektor PKS tentu akan meningkat seiring berjalan waktu, hal ini dikarenakan jumlah produksi TBS yang semakin meningkat. Oleh karena itu, perlu persiapan untuk menghadapinya. Pada tahap ini, penulis memprediksi berapa besar beban listrik PKS di



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

tahun 2022 yang mana memerlukan acuan data beban listrik PKS tahun-tahun sebelumnya. Adapun tahapan yang dilakukan sebagai berikut.

1. *Data sheet* beban listrik selama 24 bulan terakhir disusun ke dalam tabel dan dihitung total beban listrik dari PLTD dan *steam turbine*.
2. Data beban listrik yang sudah disusun, diolah untuk memprediksi beban listrik PKS di tahun 2022 menggunakan metode *time series* di *software* Minitab 16 dengan tahapan simulasi sub bab (2.2.3).

5.1.2 Prediksi Potensi Gas Metana dari POME

Data *flow rate* limbah POME PKS SGH didapatkan dari buku laporan produksi POME PKS SGH di lokasi PKS. Besarnya *flow rate* limbah POME bergantung kepada angka produksi TBS. Dari data yang didapat, tercatat jumlah POME yang dihasilkan setiap tahun meningkat seiring meningkatnya angka produksi TBS perusahaan dari tahun 2019 ke tahun 2020. Maka dari itu penulis juga perlu memprediksi besarnya *flow rate* POME di tahun 2022 menggunakan acuan data tahun-tahun sebelumnya. Adapun tahapan dalam mengolah data ini sebagai berikut.

1. Data *flow rate* limbah POME perhari yang sudah dicatat, disusun dalam bentuk tabel dan dihitung total limbah perbulannya.
2. Data *flow rate* POME yang telah disusun, diolah untuk mengestimasi *flow rate* POME di tahun 2022 menggunakan metode *time series* pada *software* Minitab 16 dengan tahapan simulasi sub bab (2.2.3).

Dari data *flow rate* POME yang sudah diestimasi, dilakukan perhitungan manual yang berpedoman kepada buku *Handbook POME To Biogas* dari Winrock International. Potensi biogas bergantung data nilai COD, *flow rate* POME di tahun implementasi proyek dan nilai efisiensi *gas engine* yang digunakan. Tahapan yang penulis lakukan untuk melihat potensi biogas dari POME PKS SGH sebagai berikut.

1. *Data sheet* nilai COD dari perusahaan disusun ke dalam tabel dan dihitung rata-rata nilai COD dari setiap pengujian.
2. Perhitungan nilai COD *loading* berdasarkan data prediksi POME PKS SGH tahun 2022 menggunakan persamaan (2.1).
3. Perhitungan produksi gas metana dari berdasarkan data prediksi jumlah COD *loading* tahun 2022 menggunakan persamaan (2.2).



5.2 Pengolahan Data Manual

Pada tahap ini penulis mengolah data secara manual yang disertai dengan pendekatan metode asumsi.

5.2.1 Persentase Penggunaan PLTD dan *Steam Turbine*

Pada tahap ini penulis menganalisis *data sheet* perusahaan yang berisikan penggunaan energi listrik yang dihasilkan dari penggunaan PLTD dan *steam turbine*. Dari tahap ini penulis dapat mengetahui persentase penggunaan masing-masing pembangkit listrik ini. Tahap ini menggunakan data hasil prediksi konsumsi listrik 2022 yang sudah dihitung pada sub bab (3.5.1.1) sebelumnya, hasil tahap ini akan menunjukkan konsumsi listrik 2022 yang dibagi berdasarkan persentase penggunaan masing-masing pembangkit listriknya.

3.5.2.2 Prediksi Pengoperasian PLTD Tahun 2022

Pada tahap ini penulis menganalisis *data sheet* perusahaan yang berisikan; durasi pengoperasian PLTD, konsumsi bahan bakar dan daya listrik yang dihasilkan. Dari tahap ini penulis dapat mengetahui jumlah kWh yang dihasilkan dari 1 jam pengoperasian PLTD dan jumlah solar yang dibutuhkan untuk 1 jam pengoperasian PLTD.

Dengan menggunakan data hasil konsumsi listrik PLTD 2022 yang sudah dihitung pada sub bab (3.5.2.1) sebelumnya, hasil dari tahap ini akan menunjukkan jumlah konsumsi solar PLTD 2022. Selain itu, tahap ini juga menunjukkan durasi pengoperasian PLTD 2022, perhitungan jadwal *maintenance* PLTD 2022 ini dilakukan berdasarkan data durasi pengoperasian PLTD 2022 dan data ketentuan jadwal *maintenance* PLTD di PKS Sei Gajah.

3.5.2.3 Pencabutan Biaya O&M PLTD Dari Substitusi PLTD

Setelah mengetahui konsumsi solar PLTD 2022 dan jadwal *maintenance* PLTD 2022 sesuai sub bab (3.5.2.2), penulis melakukan perhitungan dana O&M PLTD yang dapat diselamatkan karena adanya substitusi PLTD, tahap ini mengikuti beberapa langkah sebagai berikut.

1. Menghitung biaya solar PLTD 2022, berdasarkan data konsumsi solar PLTD 2022 dan harga solar non-subsidi Provinsi Riau tahun 2021 [42].
2. Menghitung biaya *maintenance* PLTD 2022, berdasarkan jadwal *maintenance* PLTD 2022 dan tabel biaya *replacement* dan *maintenance* komponen PLTD.
3. Menjumlahkan poin 1 dan 2.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



6

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

3.6.1.1

3.6.1.2

3.6.1.3

1.

Perhitungan Manual Dan Analisis Sistem *Hybrid*

Setelah mendapatkan potensi biogas PKS Sei Galuh di tahun 2022, penulis melakukan perhitungan dan analisis dari 3 aspek; pemilihan komponen yang dibahas dalam aspek teknis, emisi GRK yang dibahas pada aspek emisi dan kelayakan investasi yang dibahas pada aspek ekonomi.

Aspek Teknis

Dalam melakukan analisis kelayakan teknis pembangkit listrik, diperlukan bentuk konfigurasi sistem dan pemilihan alat-alat dan ukuran pembangkit listrik tenaga *hybrid* yang tepat agar hasilnya optimal baik dalam aspek teknis maupun aspek ekonomi.

Penentuan Konfigurasi Sistem *Hybrid*

Pada tahap ini penulis menentukan konfigurasi sistem *hybrid* apa yang cocok untuk kondisi ketenagalistrikan di PKS Sei Galuh. Parameter ini dipertimbangkan dari beban listrik dan daya listrik yang dikeluarkan dari pembangkit listrik.

Pemilihan Komponen PLTU Biomassa

Pada tahap ini, penulis melakukan kunjungan langsung ke PTPN V PKS Sei Galuh untuk mendapatkan data primer dan data sekunder tentang PLTU. Hal ini dilakukan agar data *steam turbine* dapat digunakan sebagai parameter *input* simulasi HOMER Pro 3.14.4.

Penentuan Ukuran Dan Pemilihan Komponen PLTBg

Untuk memanfaatkan gas metana dengan optimal, penulis melakukan studi perbandingan berdasarkan kesesuaian komponen dengan potensi, performa yang dihasilkan oleh komponen dan biaya. Adapun tahapan yang dilakukan sesuai dengan buku [9] sebagai berikut:

Pemilihan *Digester* Untuk Menghasilkan Biogas

Pada tahap ini, penulis melakukan pemilihan *digester* sistem *Covered Anaerobic Lagoon* (CAL) karena biaya investasinya lebih rendah dan permasalahan pada PKS SGH hanya limbah cair POME dengan sistem *open pond*, tidak ada permasalahan limbah padat sawit yang dapat mendukung penulis untuk memilih *digester* CSTR, karena limbah padat seperti *fiber* dan cangkang langsung dibakar untuk *boiler*, dan TBK dibakar untuk dijadikan pupuk. Dimensi *digester* sistem CAL dihitung berdasarkan sub bab (2.2.7.1), volume kolam dihitung menggunakan Persamaan (2.3), volume ruang gas dihitung menggunakan Persamaan (2.4), luas permukaan membran *digester* CAL pada kolam



2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

dengan Persamaan (2.5), luas permukaan membran CAL pada permukaan atas

dengan Persamaan (2.6), luas permukaan membran CAL total dihitung dengan

Pemilihan Komponen Dalam Pengolahan Biogas
Lalu, penulis memilih jenis komponen yang terdapat pada pengolahan biogas berdasarkan spesifikasi dan model, seperti *scrubber* untuk memurnikan biogas, *dehumidifier* dan *gas flare* yang dibahas pada sub bab (2.2.7.2), (2.2.7.3) dan (2.2.7.4).

Pemilihan Komponen Dalam Pembakaran Biogas

Pada tahap teknis akhir yaitu penulis memilih jenis *gas engine* berdasarkan potensi gas metana pada PKS SGH yang dibahas pada sub bab (0) dan merujuk Persamaan (2.8).

3.6.2 Aspek Emisi

Pada tahapan ini, penulis menganalisis berapa besar penurunan emisi gas karbon dioksida (CO_2) akibat pemanfaatan emisi gas metana (CH_4). Analisis pada aspek emisi ini bergantung kepada 3 parameter yaitu pengoperasian PLTU biomassa, substitusi PLTD, dan sistem *open pond* POME. Perhitungan pada aspek emisi merujuk kepada buku *Handbook POME To Biogas*. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan emisi penelitian ini sebagai berikut.

1. Menghitung besarnya emisi gas CO_2 dari pengoperasian PLTU biomassa sebelum dan sesudah implementasi proyek menggunakan Persamaan (2.9)
2. Menghitung besarnya emisi gas CO_2 menggunakan data prediksi PLTD di tahun 2022 dengan Persamaan (2.10).
3. Menghitung besarnya gas CH_4 yang sudah dikonversi menjadi gas CO_2 dari sistem pengolahan limbah POME kolam terbuka pada tahun 2022 menggunakan Persamaan (2.12), dengan mengonversi satuan gas metana dalam bentuk kilogram (kg) dengan Persamaan (2.11).
4. Penjumlahan poin 1, poin 2, dan poin 3 untuk menganalisis besarnya total emisi gas karbon dioksida (CO_2) akibat substitusi PLTD dan pemanfaatan gas metana (CH_4).

3.6.3 Aspek Ekonomi

Pada tahap ini penulis melakukan analisis kelayakan proyek pembangkit listrik tenaga *hybrid* dalam aspek ekonomi menggunakan perhitungan manual untuk menganalisis



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

akan dari investasi proyek ini menguntungkan atau tidak. Adapun parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Net Present Value* (NPV), *Payback Periode* (PBP) dan *Internal Rate Of Return* (IRR) [11]. Tahapan yang penulis lakukan yaitu sebagai berikut.

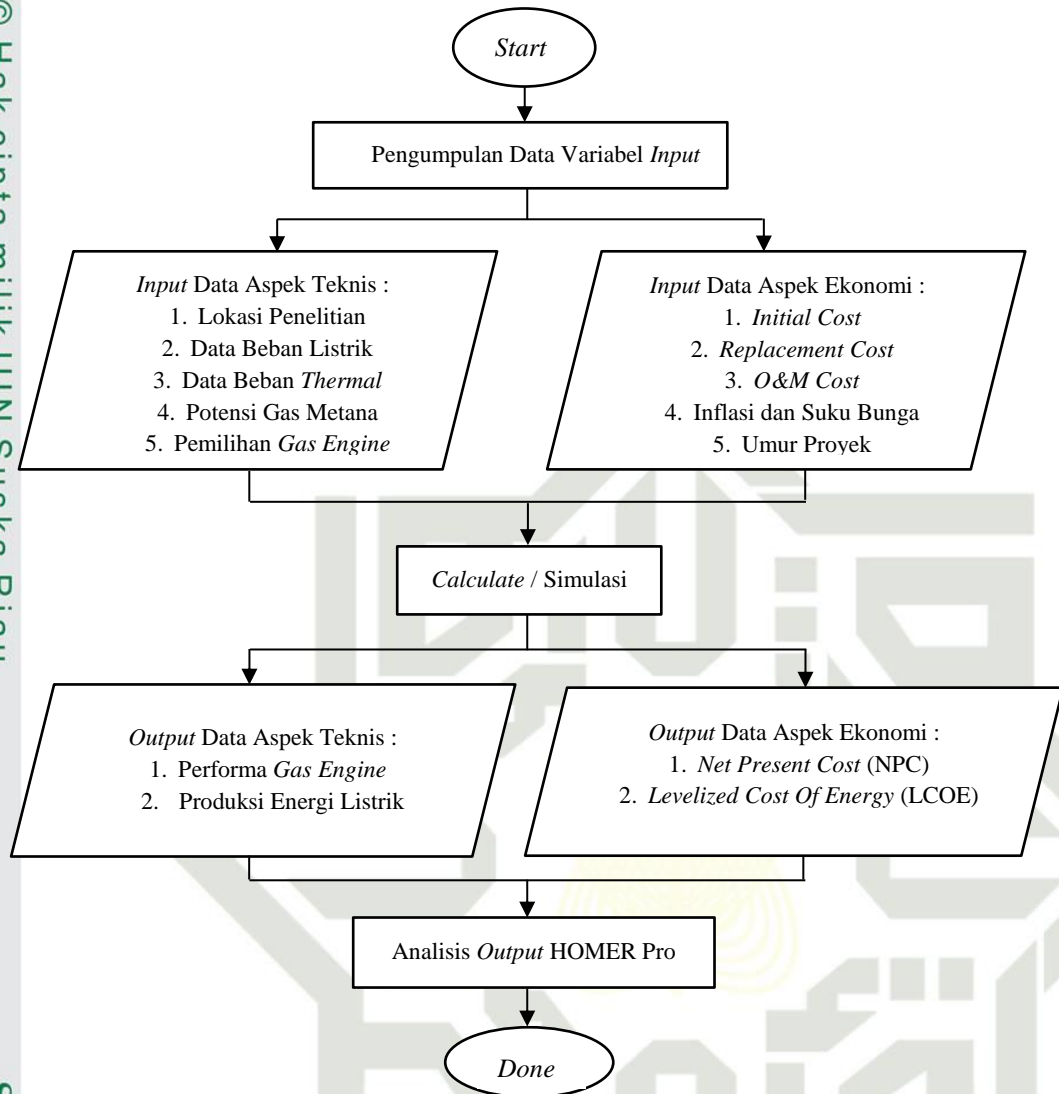
1. Menghitung *Net Present Cost* (NPC), yang merupakan seluruh biaya dari proyek untuk mengetahui nilai sekarang atau *present value* (PV). NPC meliputi *initial cost*, *Operational & Maintenance* (O&M), dan pergantian komponen dari proyek. Perhitungan dilakukan berdasarkan sub bab (2.2.10.1).
2. Metode *Net Present Value* (NPV), yang merupakan selisih antara nilai pemasukan PV dengan pengeluaran PV dengan perhitungan menggunakan Persamaan (2.15) *Cash In Flow* (CIF) menggunakan Persamaan (2.16), dan *Cash Out Flow* (COF) menggunakan Persamaan (2.17), dalam menghitung COF juga diperlukan perhitungan *Present Worth Factor* (PWF) menggunakan Persamaan (2.18) dan nilai pengeluaran NPC. Nilai pemasukan PV ini juga meliputi hasil penjualan CER dengan perhitungan menggunakan Persamaan (2.13), dan penyimpanan dana O&M PLTD akibat substitusi PLTD yang sudah dihitung pada sub bab (3.5.2.3).
3. Metode *Payback Periode* (PBP), yang merupakan metode analisis waktu pengembalian investasi proyek, perhitungan metode ini menggunakan Persamaan (2.19).
4. Metode *Internal Rate Of Return* (IRR), merupakan metode yang sama dengan NPV, namun suku bunganya tidak diketahui dan perlu dicari dengan cara *trial* dan *error*. Metode ini mengikuti Persamaan (2.20) dan suku bunganya berasal dari *Website Resmi Bank Indonesia* [40].

3.7 Simulasi HOMER Pro

Pada tahapan ini, penulis akan menganalisis pembangkit listrik tenaga *hybrid* berdasarkan aspek teknis dan aspek ekonomi menggunakan HOMER Pro, alasan digunakannya HOMER Pro ialah karena dari aspek teknis HOMER Pro dapat menganalisis performa pembangkit listrik tenaga *hybrid* dan daya *output* sistem, serta dalam aspek ekonomi juga dapat menganalisis harga jual energinya per-kWh dan pembiayaan total sistem. Berdasarkan tutorial penggunaan *software* HOMER Pro dari buku [15], maka tahapan *flowchart* simulasi HOMER Pro pada penelitian ini digambarkan sebagai berikut.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



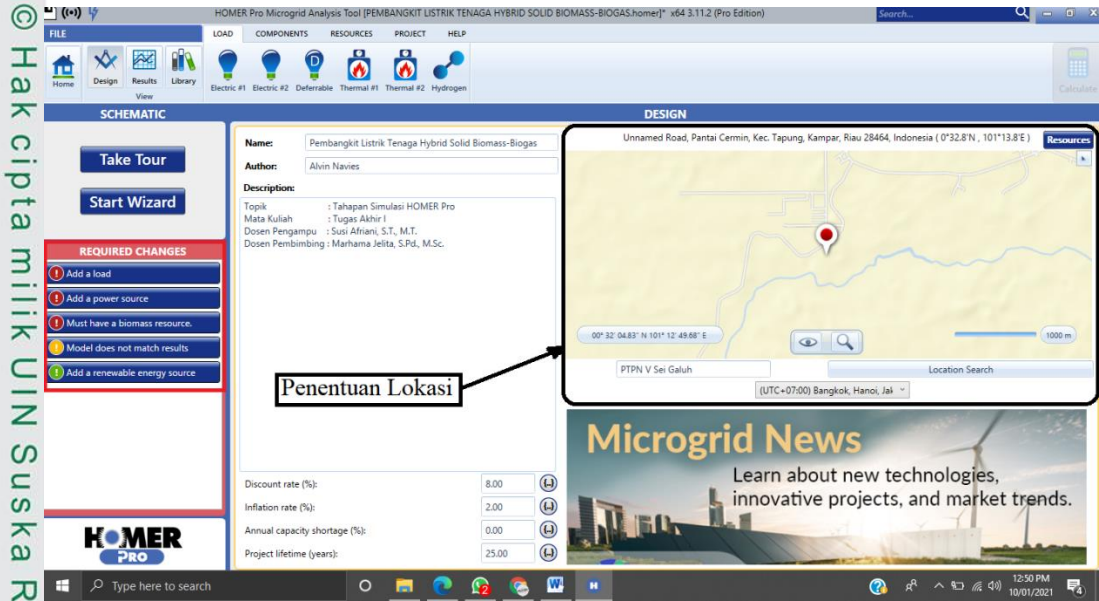
Gambar 3. 2 *Flowchart* Simulasi HOMER Pro

3.7.1 Tahapan *Input* Dan Simulasi *Software* HOMER Pro

Pada tahapan ini, penulis melakukan beberapa tahap dalam menggunakan *software* HOMER Pro. Pada tahapan ini penulis sudah mempersiapkan data yang diperlukan, berupa data yang diperoleh langsung maupun data perhitungan teoritis. Adapun tahapan memasukkan data nya mengikuti sub bab (2.2.11.1) sebagai berikut.

1. Penentuan Lokasi

Pada tahapan ini, penulis menentukan lokasi penelitian, yaitu lokasi PKS Sei Galuh PTPN V, Kecamatan Tapung, Kabupaten Kampar yang diilustrasikan pada Gambar 3. 3 sebagai berikut.

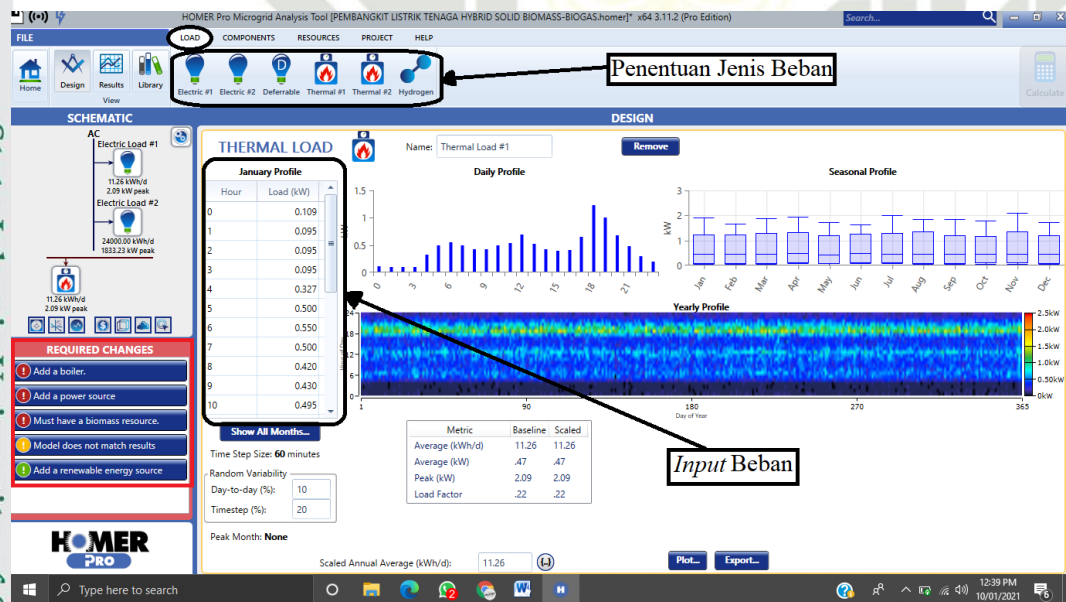


Gambar 3. 3 Penentuan Lokasi di HOMER Pro

2.

Pemilihan Beban dan *Input* Beban

Pada tahapan ini, penulis memilih jenis beban berdasarkan beban yang ada di PKS SGH, yaitu beban listrik harian PKS, dan beban termal untuk proses sterilisasi kelapa sawit dan proses pemanasan lainnya. Tampilan *input* data pada *software* HOMER Pro ini ditampilkan pada Gambar 3. 4 sebagai berikut.



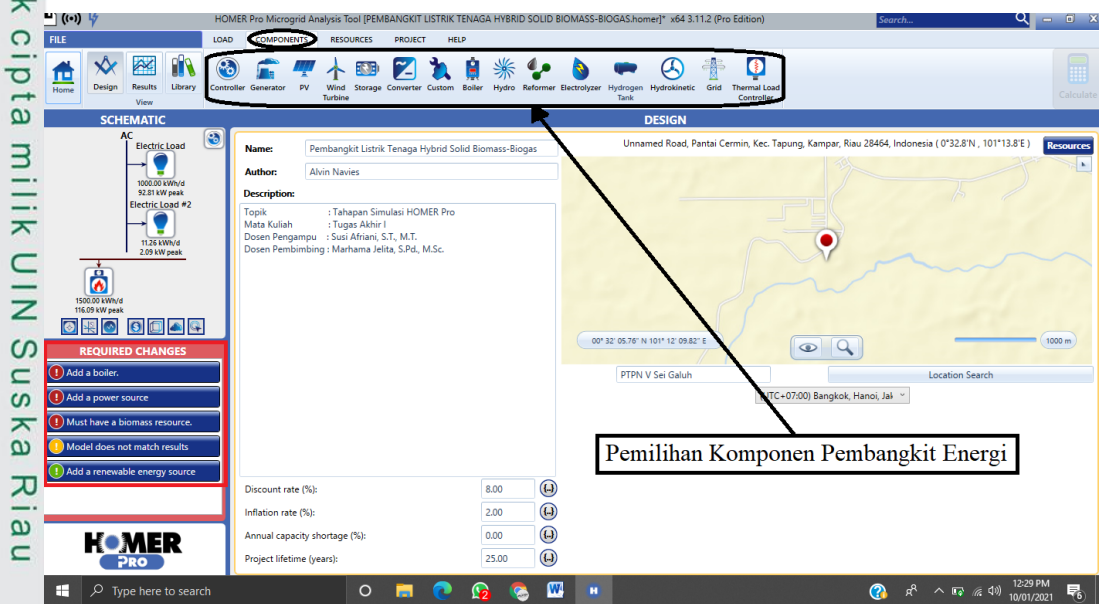
Gambar 3. 4 Penentuan Beban di HOMER Pro

3.

Pemilihan Komponen Pembangkit Energi

Pada tahap ini penulis menentukan komponen pembangkit energi berdasarkan permintaan beban, PLTU biomassa PKS menggunakan *boiler* yang juga

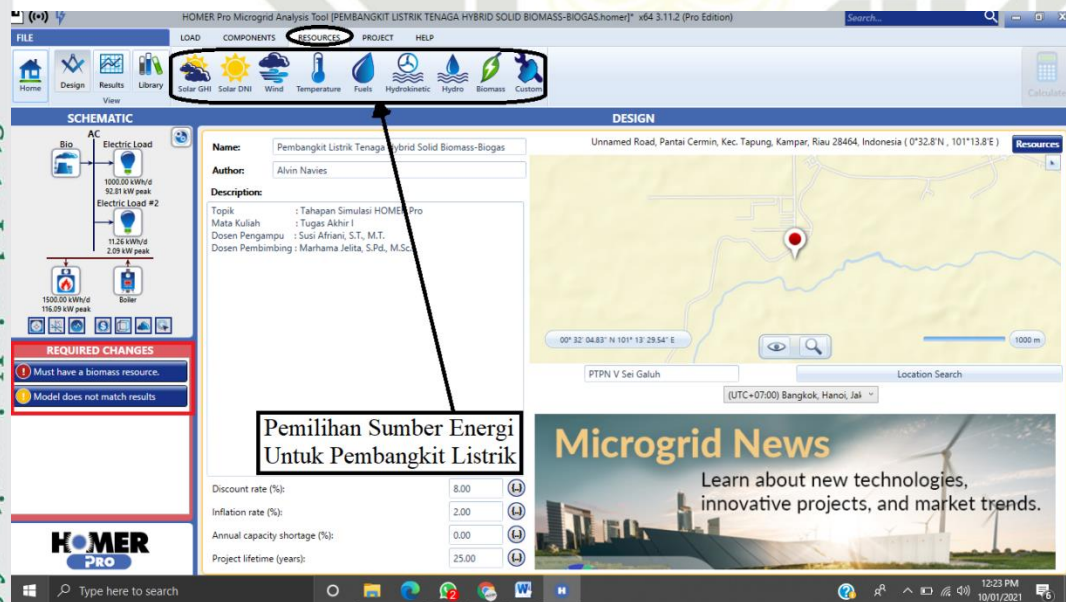
digunakan untuk memenuhi permintaan energi termal pada sterilisasi kelapa sawit PKS SGH. Pemilihan komponen ini digambarkan pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 Pemilihan Komponen di HOMER Pro

4. Pemilihan Sumber Energi

Pada tahap ini penulis menentukan sumber energi berdasarkan potensi yang ada di PKS SGH, yaitu *Biomass*. Pemilihan sumber energi ini sesuai Gambar 3. 6.



Gambar 3. 6 Pemilihan Sumber Energi di HOMER Pro

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

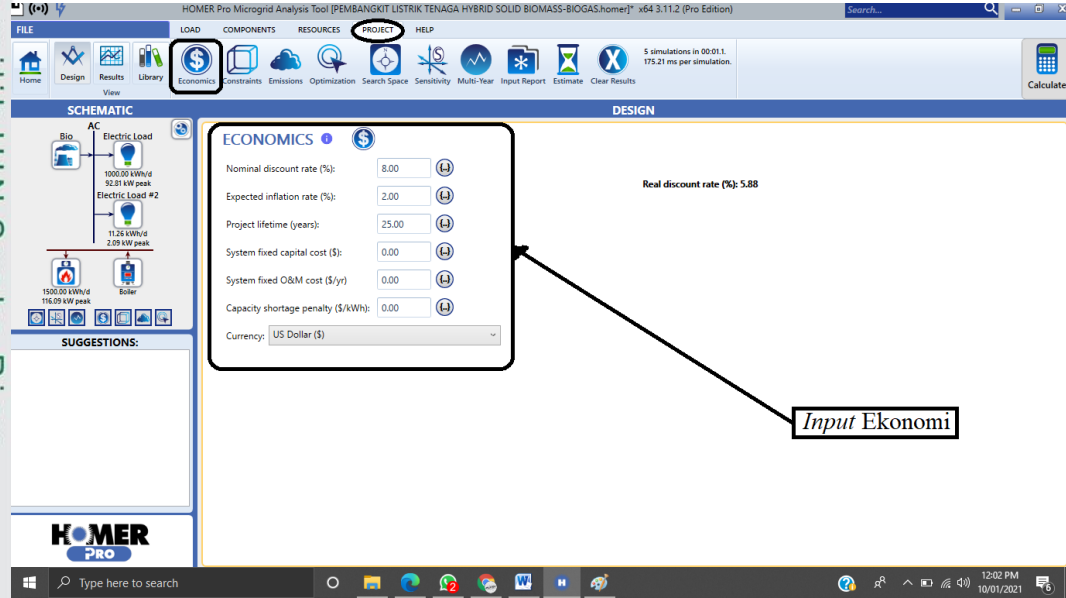
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Input Ekonomi

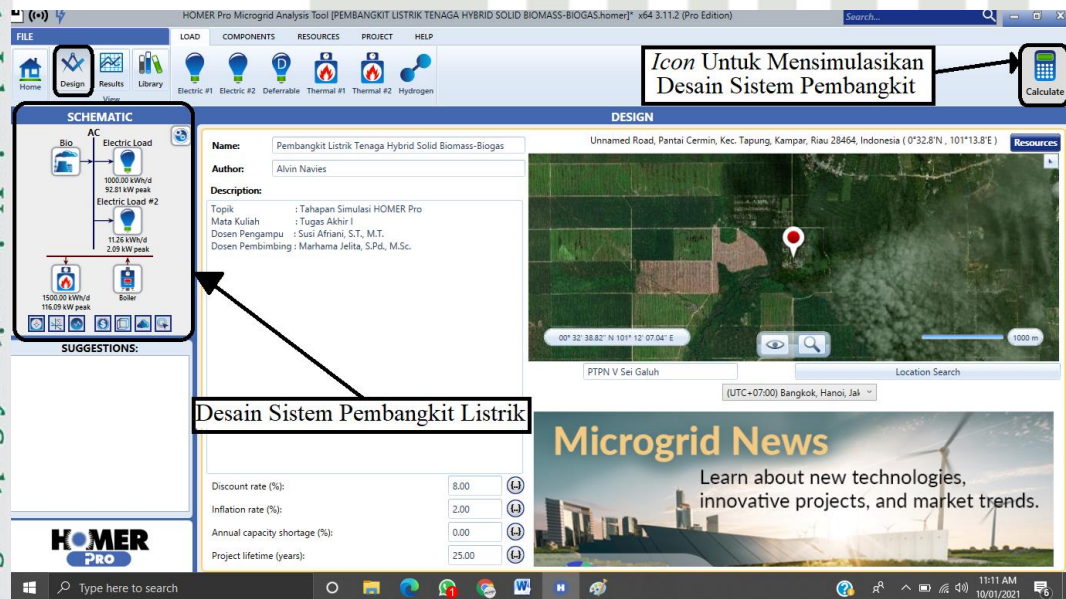
Pada tahap ini penulis mengisi data suku bunga, usia proyek, inflasi tahunan, biaya O&M dari pembangkit listrik dan *initial cost*. Suku bunga dan inflasi tahunan mengacu pada [40]. *Input* ekonomi ini dideskripsikan pada Gambar 3. 7.



Gambar 3. 7 Input Ekonomi di HOMER Pro

6. Simulasi HOMER Pro

Tahap ini merupakan akhir dari penelitian ini, pada tahap ini penulis mendapatkan pemodelan, dan disimulasikan dengan memilih “*Calculate*” seperti Gambar. Setelah itu akan didapatkan rekomendasi sistem pembangkit listrik yang optimal.



Gambar 3. 8 Simulasi sistem di HOMER Pro



Analisis Output Simulasi HOMER Pro

Pada tahap ini, penulis menganalisis dalam tujuan menguji kelayakan sistem pembangkit listrik yang didapat dari simulasi HOMER Pro. HOMER Pro juga memberikan konfigurasi sistem yang paling optimal yang tentunya akan penulis pilih. Adapun parameter *output* hasil simulasi pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Analisis Teknis

Analisis teknis pada penelitian ini meliputi performa sistem pembangkit listrik dan daya *output* yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga *hybrid*.

2. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi pada penelitian ini meliputi biaya seluruhnya selama usia proyek dalam parameter *Net Present Cost* (NPC) dan harga energi listrik per kWh dalam parameter *Levelized Cost Of Energy* (LCOE).

3.8 Analisis Kelayakan Teknis dan Ekonomi PLT Hybrid

Setelah mendapatkan hasil perhitungan manual yang meliputi nilai hasil *output* simulasi HOMER Pro, penulis akan mengkaji kelayakan aspek teknis dan ekonomi sebuah proyek berdasarkan referensi penelitian dan buku. Dalam aspek teknis, kelayakan sistem pembangkit listrik dinilai dari kinerja pembangkit listrik apakah dapat memenuhi seluruh permintaan listrik selama umur proyek. Dalam aspek ekonomi, menurut buku [14] dan [37] proyek dikatakan layak apabila memiliki $NPV > 0$, $IRR > \text{Suku Bunga Pertama}$, dan $PBP < \text{umur proyek}$. Pada penelitian [27], konfigurasi sistem yang dipilih berdasarkan nilai *output* NPC dan LCOE yang terendah. Pada penelitian [16], proyek dikatakan layak apabila memiliki LCOE yang lebih rendah daripada tarif listrik daerah.

Berdasarkan kriteria kelayakan sistem pembangkit listrik dari aspek teknis dan ekonomi, apabila penelitian tidak memenuhi syarat kelayakan maka penelitian “Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Biomass-Biogas*” ini dilakukan evaluasi dari perhitungan manual aspek teknis dan perhitungan manual aspek ekonomi hingga penelitian ini terbukti layak dari aspek teknis dan ekonomi. Analisis kelayakan teknis dan ekonomi diakhiri dengan penulisan kesimpulan dan saran.

3.9 Kesimpulan Dan Saran

Pada tahap ini, penulis menyimpulkan secara ringkas dan rinci hasil penelitian untuk menjawab seluruh rumusan masalah dan tujuan penelitian. Adapun saran yang penulis berikan dapat menjadi rekomendasi penelitian selanjutnya.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah penulis lakukan, ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dengan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 43,684.5 mg/l dan *flow rate* POME 110,687.74 m³/tahun, PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh memiliki potensi biogas sebesar 1,529,386 m³/tahun.
2. Desain pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* yang optimal dari hasil perhitungan teoritis dan simulasi HOMER Pro 3.14.4 terdiri dari PLTU berkapasitas 859 kW dan PLTBg berkapasitas 1,000 kW yang terhubung dengan konfigurasi paralel. Dengan kontribusi *steam turbine* 37.1 % dan genset biogas 62.9 %, sistem pembangkit listrik ini dapat memenuhi permintaan listrik PKS selama 20 tahun dengan produksi listrik sebesar 6,745,588 kWh/tahun. Dalam memenuhi permintaan listrik PKS 4,156,000 kWh/tahun ini terdapat kelebihan produksi listrik dari PLTBg sebesar 2,589,588 kWh/tahun. Maka pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh ini layak dari aspek teknis.
3. Pengoperasian pembangkit listrik tenaga *hybrid*, PKS menurunkan jadwal pengoperasian PLTU, menyubstitusi PLTD, dan membakar gas metana sebanyak 1,529,386 m³/tahun. Maka total pengurangan emisi CO₂ dari proyek pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* di PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh ini sebesar 22,047.52 ton/tahun.
4. Pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* memerlukan investasi awal sebesar Rp.20,642,048,998 dengan biaya *Operational & Maintenance* (O&M) sebesar Rp.1,097,471,715/tahun. Pembangkit listrik ini memiliki nilai jual energi atau *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) sebesar Rp.502.53, yang mana nilainya berada di bawah harga yang diterapkan pemerintah. Nilai *Net Present Value* (NPV) bernilai positif sebesar Rp.70,861,661,291, *payback period* selama 6 tahun 1 bulan, dan nilai *Internal Rate Of Return* (IRR) sebesar 17.01 %. Maka dapat disimpulkan, proyek pembangkit listrik tenaga *hybrid biomass-biogas* di PT.Perkebunan Nusantara V Sei Galuh ini layak dari aspek ekonomi.



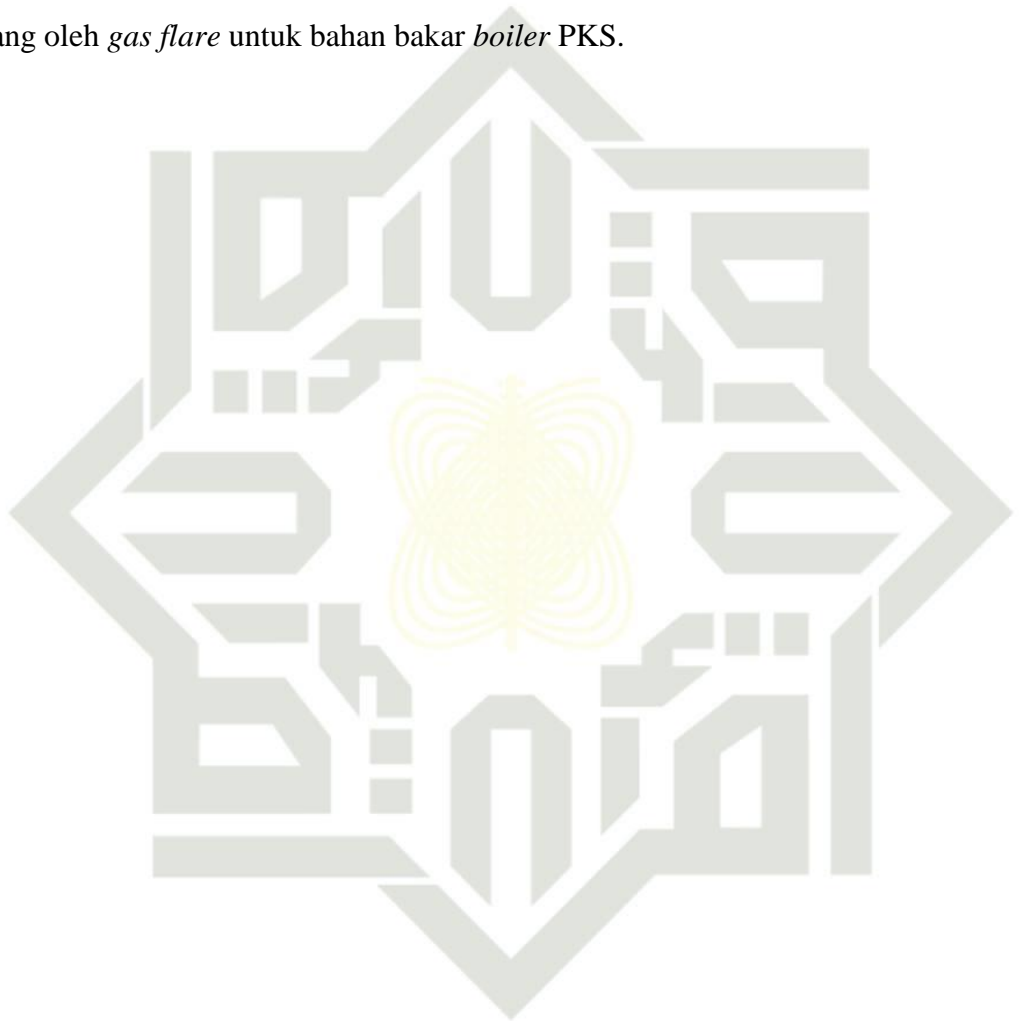
Saran

Dari penelitian ini, ada beberapa saran yang mungkin dapat dipertimbangkan oleh peneliti selanjutnya sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan penelitian utilisasi energi panas yang terbuang oleh *gas engine* untuk *cogeneration system* PKS.
2. Penelitian selanjutnya disarankan dapat melakukan penelitian utilisasi gas metana yang terbuang oleh *gas flare* untuk bahan bakar *boiler* PKS.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, "Indonesia Energy Out Look 2019," *J. Chem. Inf. Model.*, 2019.
- [2] Badan Pusat Statistik, *Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia Ekspor*. 2018.
- [3] I. C. Onyechi and C. A. Igwegbe, "Exploitation of Empty Palm Fruit Bunch for the Generation of Electricity," *J. Energy Res. Rev.*, 2019, doi: 10.9734/jenrr/2019/v2i230074.
- [4] BPS-Statistics Indonesia, "Direktori Perusahaan Perkebunan Kelapa Sawit 2019," *Badan Pus. Stat.*, 2019.
- [5] Dirjenbun, "Statistik perkebunan Indonesia 2018-2020," *Buku Stat. Perkeb. Indones.*, 2019.
- [6] Humas PTPN V, "Menristek Resmikan Pemanfaatan Listrik Dari Biogas Limbah Sawit." <https://ptpn5.com/2020/03/menristek-resmikan-pemanfaatan-listrik-dari-biogas-limbah-sawit-2/> (accessed Sep. 25, 2020).
- [7] A. Enström, T. Haatainen, A. Suharto, M. Giebels, and K. Y. Lee, "Introducing a new GHG emission calculation approach for alternative methane reduction measures in the wastewater treatment of a palm oil mill," *Environ. Dev. Sustain.*, 2019, doi: 10.1007/s10668-018-0181-4.
- [8] Hadi Purnomo, *Laporan Dewan Energi Nasional*. Jakarta: Kementerian Energi Sumber Daya Mineral, 2014.
- [9] A. S. Rahayu *et al.*, "Handbook POME-to-Biogas Project Development in Indonesia," *Winrock Int.*, 2015.
- [10] K. Shivarama Krishna and K. Sathish Kumar, "A review on hybrid renewable energy systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.187.
- [11] A. Sugiyono, A. Adiarso, R. E. Puspita Dewi, Y. Yudiartono, A. Wijono, and N. Larasati, "Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dari POME Dengan Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind.*, 2019, doi: 10.29122/mipi.v13i1.3232.
- [12] M. Evans, "MINITAB Manual," 2009.
- [13] An introduction to biogas and biomethane – Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth – Analysis - IEA."



1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang.
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [4] <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane> (accessed Jun. 13, 2021).
- [5] D. M. Giatrnan, D. Buku, P. Tinggi, P. T. Rajagrafindo, and P. Jakarta, *Ekonomi Teknik*. .
- [6] Homer Energy, *HOMER Pro Version 3.7 User Manual*. Boulder, 2016.
- [7] P. Iemsomboon, T. Pati, and K. Bhumkittipich, "Performance study of micro hydro turbine and PV for electricity generator, case study: Bunnasopit school, Nan Province, Thailand," *Energy Procedia*, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.06.752.
- [17] F. Palone *et al.*, "Replacing diesel generators with hybrid renewable power plants: Giglio smart island project," 2017, doi: 10.1109/EEEIC.2017.7977755.
- [18] Febijanto, "Optimalisasi Pemanfaatan Gas Metana: Sebagai Sumber Energi di Pabrik Kelapa Sawit sebagai Antisipasi Harga Jual Listrik Berdasarkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan," *J. Teknol. Lingkung.*, 2018, doi: 10.29122/jtl.v19i1.2071.
- [19] S. Goel and R. Sharma, "Optimal sizing of a biomass–biogas hybrid system for sustainable power supply to a commercial agricultural farm in northern Odisha, India," *Environ. Dev. Sustain.*, 2019, doi: 10.1007/s10668-018-0135-x.
- [20] O. K. C. Njoku Chiemezuo, Onojo James O, Nkwachukwu Chukwuchekwa, "Design And Simulation Of A Hybrid Biomass-Solar Renewable Energy System For Rural Dwellers In Nigeria," *World J. Eng. Res. Technol. WJERT*, vol. 4, no. 4, pp. 368–378, 2018.
- [21] A. Rupani and R. Singh, "Review of current palm oil mill effluent (POME) treatment methods: Vermicomposting as a sustainable practice," *World Appl. Sci.*, 2010.
- [22] N. I. S. A. P. Agus Suandi, "Analisa Pengolahan Kelapa Sawit dengan Kapasitas Olah 30 ton/jam Di PT. BIO Nusantara Teknologi," *Teknosia*, 2016, doi: 10.6789/teknosia.v2i17.1022.
- [23] Pitriyono Ayustaningwarno, "Proses Pengolahan Dan Aplikasi Minyak Sawit Merah Pada Industri Pangan," *Vitasphere*, 2012.
- [24] N. Hamzah, K. Tokimatsu, and K. Yoshikawa, "Solid fuel from oil palm biomass residues and municipal solid waste by hydrothermal treatment for electrical power generation in Malaysia: A review," *Sustainability (Switzerland)*. 2019, doi: 10.3390/su11041060.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [5] P. A. Seadi *et al.*, *Biogas Handbook*. 2008.
- [6] G. L. Karmaker, P. K. Halder, and E. Sarker, "A Study of Time Series Model for Predicting Jute Yarn Demand: Case Study," *J. Ind. Eng.*, 2017, doi: 10.1155/2017/2061260.
- [7] Kunaifi, "Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi Riau," *Semin. Nas. Inform. 2010 (semnasIF 2010) UPN "Veteran" Yogyakarta*, 22 Mei 2010, 2010.
- [8] P. L. Conrad, "Overview of the Waste-to-Energy Potential for Grid-connected Electricity Generation (Solid Biomass and Biogas) in Indonesia Promotion of Least Cost Renewables in Indonesia (LCORE-Indo)," 2014.
- [29] Y. Palaniandy, N. M. Adam, Y. P. Hung, and F. H. Naning, "Potential of Steam Recovery from Excess Steam in Sterilizer at Palm Oil Mill," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 79, no. 1, pp. 17–26, Dec. 2020, doi: 10.37934/ARFMTS.79.1.1726.
- [30] U. S. E. P. Agency, "Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies," *Biomass*, 2007.
- [31] R. R. E. Putra, "Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Solar PV-Biogas Off Grid System," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2020.
- [32] A. I. Adnan, M. Y. Ong, S. Nomanbhay, K. W. Chew, and P. L. Show, "Technologies for biogas upgrading to biomethane: A review," *Bioengineering*, vol. 6, no. 4. MDPI AG, p. 92, Dec. 01, 2019, doi: 10.3390/bioengineering6040092.
- [33] "Biogas Dehumidification System." [https://www.parker.com/literature/Renewable Energy/Biogas-Dehumidification-System_EN.pdf](https://www.parker.com/literature/Renewable%20Energy/Biogas-Dehumidification-System_EN.pdf) (accessed May 22, 2021).
- [34] U. S. E. P. Agency, "Section 3 VOC Controls."
- [35] "Enclosed Gas Flare • BiogasWorld." <https://www.biogasworld.com/product/biogas-management/biogas-flare/airscience-enclosed-gas-flare/> (accessed May 30, 2021).
- [36] S. A. Edwin Dicky Hindarto, *Pengantar Pasar Karbon untuk Pengendalian Perubahan Iklim*. Jakarta: United Nations Development Program, 2018.
- [37] M. Priyo, *Ekonomi Teknik*. 2011.
- [38] Pratiwi, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dari Limbah Cair PKSmPT. Perkebunan Nusantara V Sei Pagar," Universitas Islam Negeri Sultan



Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, 2020.

D. P. Sari, D. Pujotomo, and M. T. Tutuarima, "Analisa Kelayakan Ekonomis Pada Pembangunan Instalasi Untuk Proses Fertilisasi In Vitro (FIV)," *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 1, no. 3, pp. 34–45, 2012, doi: 10.12777/jati.1.3.34-45.

"Bank Indonesia." <https://www.bi.go.id/id/default.aspx> (accessed Jan. 28, 2021).

KESDM, No. 55K/20/MEM/2019 Tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero). 2019.

Daftar Harga BBK Tmt 01 Januari 2021 | Pertamina." <https://www.pertamina.com/id/news-room/announcement/Daftar-Harga-BBK-Tmt-01-Januari-2021> (accessed Apr. 22, 2021).

A. Petersson and A. Wellinger, "Biogas upgrading technologies-developments and innovations Task 37-Energy from biogas and landfill gas." Accessed: Jun. 30, 2021. [Online]. Available: www.iea-biogas.net.

A. Wahyu, M. Fahrurrozi, and M. Hidayat, "Studi Tekno-Ekonomi Pemurnian Biogas dari Limbah Domestik | Wahyu P |," *J. Rekayasa Proses*, vol. 6, no. 2, pp. 43–50, 2012, Accessed: May 23, 2021. [Online]. Available: <https://journal.ugm.ac.id/jrekpros/article/view/4695/3954>.

A. Kalinichenko, V. Havrysh, and V. Perebyynis, "Evaluation Of Biogas Production And Usage Potential," *De Gruyter*, vol. 23, no. 3, pp. 387–400, 2016, doi: 10.1515/eces-2016-0027.

Gas Engine TCG 2020 - MWM." <https://www.mwm.net/en/gas-engines-sensets/gas-engine-tcg-2020/> (accessed Apr. 03, 2021).

M. D. Hadad, *Buku Pedoman Energi Bersih Untuk Lembaga Jasa Keuangan*. Jakarta, 2014.

A. Sugiyono, A. R. Juwita, Z. D. Hastuti, and I. Fitriana, "Kajian Tekno Ekonomi Upgrading Biogas Berbasis POME Dengan Teknologi Water Scrubber," *JTERA Jurnal Teknol. Rekayasa*, vol. 4, no. 1, p. 61, May 2019, doi: 10.31544/jtera.v4.i1.2019.61-68.

HDPE Smooth Geomembrane." <https://www.trgeox.com/product-hdpe-smooth-geomembrane-1.html> (accessed May 25, 2021).

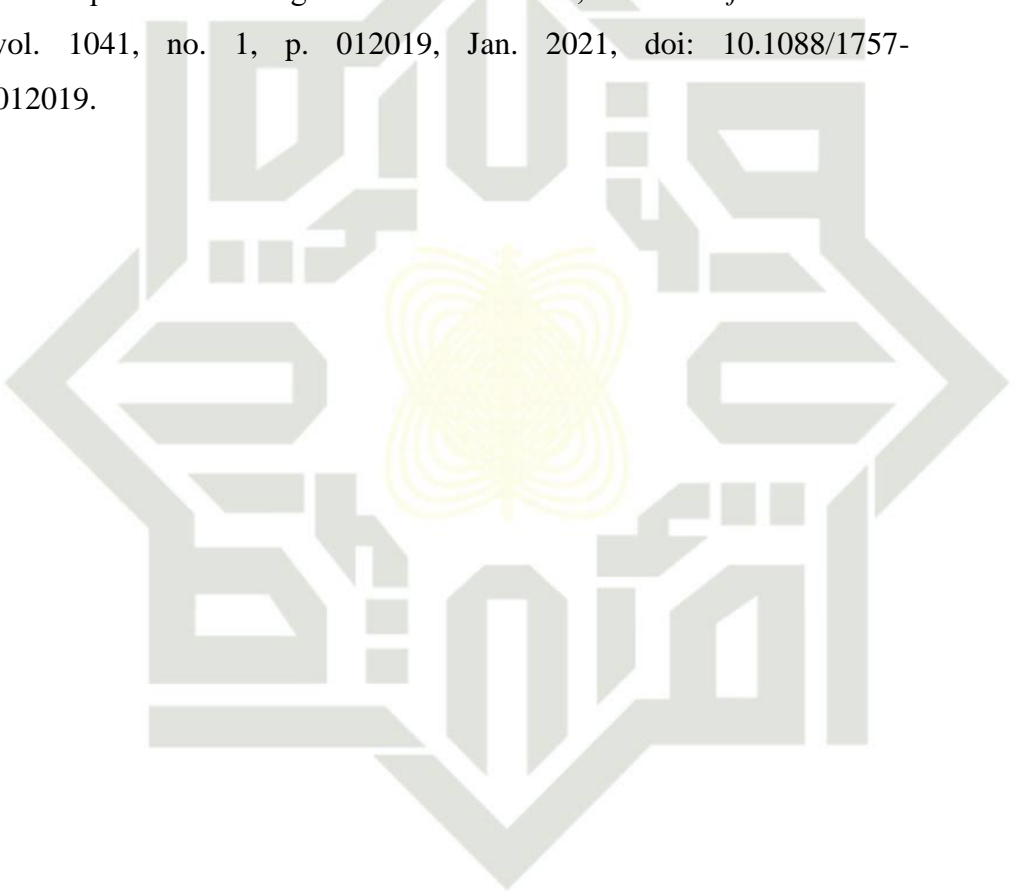
G.-B. Cynthia, C. Ofori-Boateng, and E. M. Kwofie, "Water Scrubbing: A Better Option for Biogas Purification for Effective Storage," *World Appl. Sci. J.*, vol. 5, pp. 122–125, 2009.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- 1] Epa and GasSTAR, “Partner Reported Opportunities (PROs) PRO Fact Sheet No. 904 for Reducing Methane Emissions Install Flares.”
 - 2] “Cat® Parts Store - Order Cat® Parts Online.” <https://parts.cat.com/en/trakindo> (accessed May 24, 2021).
 - 3] A. Jarrar, O. Ayadi, and J. Al Asfar, “Techno-economic aspects of electricity generation from a farm based biogas plant,” *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 476–492, 2020, doi: 10.13044/j.sdewes.d7.0302.
 - 4] D. Budiana and R. Dalimi, “The economics comparison of power plants fuelled by wellhead gas and liquefied natural gas in Aceh Province,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1041, no. 1, p. 012019, Jan. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1041/1/012019.





LAMPIRAN A

SURAT PENERIMAAN IZIN PENELITIAN

Surat Penerimaan Izin Penelitian



Nomor : 5/SDM/X/200/X/2020
Lamp :

Pekanbaru, 21 Oktober 2020



Kepada Yth.
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Tempat

Hal : Pengambilan Data

Dengan hormat,
Menghunjuk surat Saudara No Un.04/F.V/PP.00.9/6641/2020 tanggal 29 September 2020 hal tersebut di atas, dengan ini kami sampaikan sebagai berikut:

1. Pada prinsipnya Manajemen PTPN V menyetujui mahasiswa a.n Alvin Navies, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau untuk melakukan Pengambilan Data di Bagian Perencanaan dan Sustainability PT Perkebunan Nusantara V pada tanggal 22 Oktober 2020 sampai dengan selesai.
2. Mahasiswa tersebut agar melapor kepada Kepala Bagian Sumber Daya Manusia PTPN V sebelum dan sesudah melaksanakan Pengambilan Data serta menjamin bahwa data yang diperoleh hanya digunakan untuk kepentingan ilmiah pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Segala biaya yang timbul dan apabila terjadi kecelakaan pada saat melakukan Pengambilan Data menjadi tanggung jawab mahasiswa yang bersangkutan.
4. Kegiatan Pengambilan Data dapat dilaksanakan via telepon melalui contact person Sdr. Rizalmi Fitrah (Ka Sub Bagian Perencanaan Korporasi & Manajemen Kerja) nomor HP 081371379923.
5. Setelah melakukan Pengambilan Data mahasiswa yang bersangkutan wajib mengirimkan 1 (satu) set laporan kepada PTPN V.

Demikian disampaikan dan terima kasih atas perhatian yang diberikan.

Pj. Kepala Bagian SDM

Dwi Jatmiko Prayitno

Tembusan : - PST
- Pertinggal

AKHLAK – Amanah, Kompeten, Harmonis, Loyal, Adaptif, Kolaboratif

PT Perkebunan Nusantara V
Jl. Rambutan No. 43
Pekanbaru 28294, Riau, Indonesia

Tel +62 (761) 66565
Fax +62 (761) 66558
E-mail ptpn5@ptpn5.co.id
Web www.ptpn5.com

Kantor Perwakilan
Jl. Cempaka Putih Tengah XXX No. 73
Jakarta 10510, Indonesia

Tel +62 (21) 424 4291
Fax +62 (21) 424 5034

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B

STUDI PENDAHULUAN

B.1 Tabel Isi Percakapan Wawancara I

Pewawancara : Alvin Navies

Narasumber : Rizalmi Fitrah

Hari/Tanggal : Selasa, 03 November 2020

Waktu dan Tempat : 11:00 WIB, Via Whatsapp (*Online*)


No	Pewawancara	Narasumber
1	Dari mana sumber kelistrikan PTPN V Sei Galuh, pak?	Listrik PKS Sei Galuh (SGH) bersumber dari <i>boiler</i> biomassa PKS. Dan digunakan 100% untuk operasional PKS. Rumah karyawan sudah dialiri listrik PLN.
2	Terkait <i>boiler</i> biomassa apa yang dijadikan bahan bakar <i>boiler</i> nya pak? Dan menggunakan apa dalam proses pembangkitan listriknya pak?	Bahan bakarnya dari <i>fiber</i> dan cangkang kelapa sawit. Pembangkit listrik menggunakan <i>steam turbine</i> .
3	Apakah ada masalah pada sistem kelistrikan PKS SGH, pak?	Permasalahan operasional pastinya ada, namun relatif dapat ditangani oleh tim <i>maintenance</i> PKS.
4	Berapa kebutuhan kelistrikan di PTPN V Sei Galuh, pak?	Kapasitas rata-rata PKS SGH saat ini 45 ton TBS/jam. rata2 konsumsi listrik 17 kwh/ton TBS olah.
5	Bagaimana pengolahan limbah sawit di PTPN V Sei Galuh, pak? Apakah ada dampak dari pengolahan limbah produksinya?	IPAL PKS SGH saat ini sistem kolam <i>anaerobic</i> dan <i>aerobic</i> . Dampak pengelolaan limbah sistem <i>open pond</i> adalah emisi metana (GRK) yg berbahaya buat lingkungan.

Pekanbaru, 18 Februari 2021

Mengetahui,
Kepala Sub. Bagian Perencanaan Korporasi
Dan Manajemen Kinerja PTPN V


Rizalmi Fitrah

Hormat Saya,
Mahasiswa UIN SUSKA Riau


Alvin Navies

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

B.2 Tabel Isi Percakapan Wawancara II

Pewawancara : Alvin Navies

Narasumber : Fahmi Hidayat dan M.Fadhailul Anam

Hari/Tanggal : Senin, 30 November 2020

Waktu dan Tempat : 10:00 WIB, PTPN V Sei Galuh (Offline)


No	Pewawancara	Narasumber
1	Berapa daya <i>output steam turbine</i> , pak?	Daya <i>output</i> maksimum adalah 800 kW. Namun digunakan maksimal 80% untuk menghadapi lonjakan listrik.
2	Berapa lama waktu operasi PKS, pak?	PKS beroperasi selama 20 jam dalam sehari. Dan PKS hanya tidak beroperasi di Hari Ahad dan hari-hari libur nasional.
3	Bagaimana menurut Bapak terkait pelepasan emisi GRK dari limbah POME?	Dalam suatu PKS menghasilkan limbah yang disebut dengan POME. POME menghasilkan gas metana yang diharamkan oleh alam dan merusak ozon, ada 5 yang menyebabkan efek rumah kaca, N_2O , CO_2 , CH_4 , CO dan H_2S yang mencemari lingkungan. Cara mengurangnya yaitu dengan memanfaatkan gas metana menjadi energi, sudah ditemukan teknologinya yaitu genset Biogas.
4	Adanya surplus energi listrik dari PLTBg, apakah PTPN V Sei Galuh memungkinkan untuk melakukan PPA dengan PT.PLN, pak?	Boleh saja kalau pasokan cukup, asalkan penggunaannya 80% dari daya <i>output</i> maksimal.
5	Apa pendapat Bapak mengenai pemanfaatan <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) menjadi Biodiesel?	Kurang memungkinkan, karena terkadang harga CPO bisa lebih mahal daripada harga bahan bakar diesel.

Kampar, 08 Februari 2021

Mengetahui,
Asisten Teknik PKS Sei Galuh


Fahmi Hidayat

Hormat Saya,
Mahasiswa UIN SUSKA Riau


Alvin Navies

Menyetujui,
Manajer PKS Sei Galuh


M. Fadhailul Anam

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

B.3 Tabel Isi Percakapan Wawancara III

Pewawancara : Alvin Navies

Narasumber : Edy Suprayetno

Hari/Tanggal : Kamis, 31 Desember 2020

Waktu dan Tempat : 15:00 WIB, PTPN V Sei Galuh (*Offline*)

No	Pewawancara	Narasumber
1	Kapan genset diesel digunakan, pak?	Genset diesel digunakan pada saat tertentu, yaitu ketika produksi TBS sedang sedikit, dan saat produksi TBS sedang banyak maka PKS Sei Galuh menggunakan <i>steam turbine</i> .
2	Mengapa PTPN V Sei Galuh menggunakan genset diesel ketika produksi TBS sedikit, pak?	Karena pada kondisi rendahnya pasokan TBS menyebabkan kurangnya pasokan limbah padat sawit sehingga performa <i>steam turbine</i> pada kondisi itu akan dinilai kurang optimal. Dan penggunaan genset diesel pada kondisi itu dinilai lebih ekonomis. Dengan menggunakan genset diesel, PKS dapat menyimpan <i>fiber</i> dan cangkang sawit untuk dijual atau dimanfaatkan sebagai bahan bakar <i>boiler</i> pada periode pembakaran selanjutnya.


Kampar, 08 Februari 2021

Mengetahui,
Kepala Bagian Teknik PKS Sei Galuh



Edy Suprayetno

Hormat Saya,
Mahasiswa UIN SUSKA Riau



Alvin Navies

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

B.4 Tabel Isi Percakapan Wawancara IV

Pewawancara : Alvin Navies

Narasumber : Sugiyatno

Hari/Tanggal : Sabtu, 30 Januari 2021

Waktu dan Tempat : 15:00 WIB, PTPN V Sei Galuh (Offline)

No	Pewawancara	Narasumber
1	Menanggapi produksi TBS yang tidak normal, apa usaha yang dilakukan perusahaan untuk meningkatkan produksi TBS di PTPN V Sei Galuh, pak?	Hingga saat ini PTPN V Sei Galuh sudah melakukan kontrak pembelian TBS dengan cara bekerja sama dengan kebun plasma, kebun inti Sei Galuh, kebun inti Sei Pagar, kebun inti Sei Garo dan kebun rakyat sekitar.
2	Apakah di tahun 2021 kedepan ini PTPN V Sei Galuh memiliki program untuk meningkatkan produksi TBS, pak?	Ada, PTPN V Sei Galuh memiliki target untuk menambah relasi dengan pihak lain dalam kontrak pembelian TBS, agar produksi TBS meningkat untuk kedepannya.

Kampar, 08 Februari 2021

Mengetahui,

Asisten Pengendalian Mutu PKS Sei Galuh


Sugiyatno

Hormat Saya,

Mahasiswa UIN SUSKA Riau


Alvin Navies



LAMPIRAN C

Data Konsumsi Listrik PTPN V Sei Galuh

Tabel Konsumsi Listrik Bulanan PKS Sei Galuh 2019

No	Bulan	Konsumsi Listrik 2019 (kWh)				Total (kWh)
		Genset 1	Genset 2	Steam Turbine 1	Steam Turbine 2	
1	Januari	6,765	14,850	111,600	45,800	179,015
2	Februari	5,115	11,550	80,600	58,300	155,565
3	Maret	5,280	14,520	26,700	149,100	195,600
4	April	14,190	6,765	169,300	-	190,255
5	Mei	1,650	25,905	147,500	107,900	282,955
6	Juni	1,815	21,285	163,300	60,600	247,000
7	Juli	1,320	22,275	273,700	68,900	366,195
8	Agustus	-	18,150	306,400	-	324,550
9	September	-	16,830	335,200	-	352,030
10	Oktober	-	25,245	200,800	-	226,045
11	November	-	24,585	42,900	129,500	196,985
12	Desember	3,465	23,265	-	117,200	143,930
Total						2,860,125 kWh

Tabel Konsumsi Listrik Bulanan PKS Sei Galuh 2020

No	Bulan	Konsumsi Listrik 2020 (kWh)				Total (kWh)
		Genset 1	Genset 2	Steam Turbine 1	Steam Turbine 2	
1	Januari	8,910	11,550	44,500	186,500	251,460
2	Februari	4,785	13,860	111,200	109,400	239,245
3	Maret	-	21,780	188,400	39,400	249,580
4	April	-	21,120	222,000	-	243,120
5	Mei	-	26,895	158,900	-	185,795
6	Juni	-	23,430	62,900	205,000	291,330
7	Juli	11,715	17,490	92,500	104,000	225,705
8	Agustus	26,730	-	279,400	-	306,130
9	September	27,720	-	258,100	-	285,820
10	Oktober	26,235	-	105,200	115,300	246,735
11	November	28,050	-	269,800	-	297,850
12	Desember	26,700	-	-	261,720	288,420
Total						3,111,100 kWh

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



1. Diarahkan mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel Konsumsi Listrik Per Jam PKS Sei Galuh Desember 2020

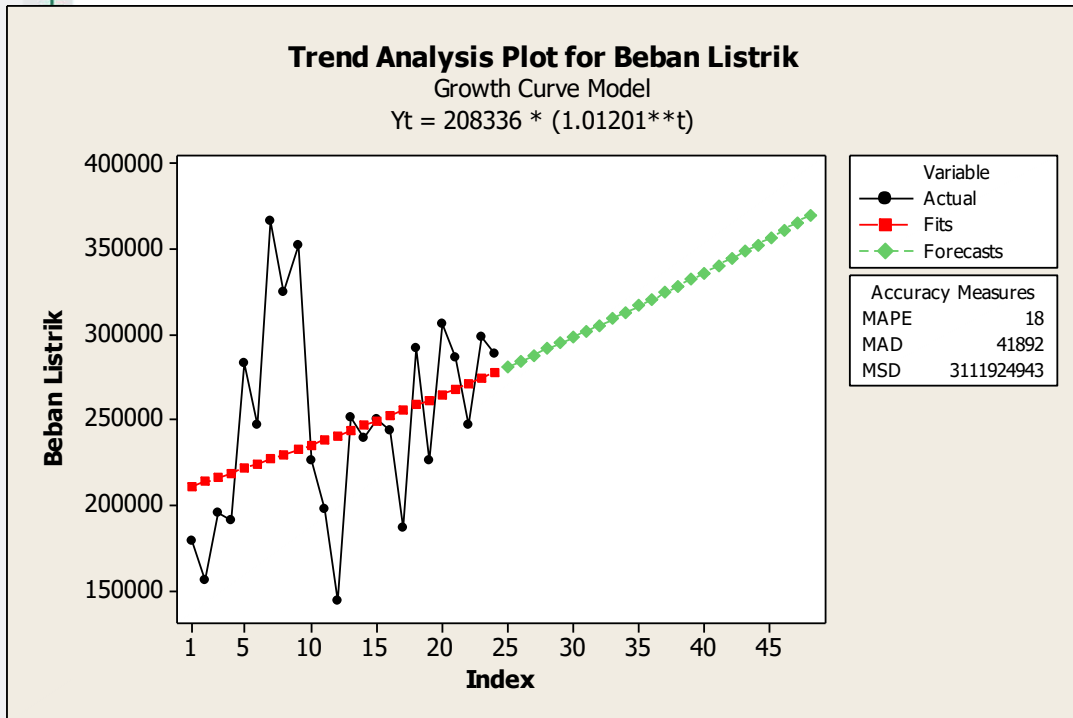
Pukul	% dari Beban Harian	Beban Listrik (kW)	Pukul	% dari Beban Harian	Beban Listrik (kW)
00:00 - 01:00	4.19%	570	12:00 - 13:00	4.41%	600
01:00 - 02:00	4.04%	550	13:00 - 14:00	4.55%	620
02:00 - 03:00	4.41%	600	14:00 - 15:00	4.19%	570
03:00 - 04:00	4.41%	600	15:00 - 16:00	4.55%	620
04:00 - 05:00	4.41%	600	16:00 - 17:00	4.41%	600
05:00 - 06:00	3.67%	500	17:00 - 18:00	4.41%	600
06:00 - 07:00	3.67%	500	18:00 - 19:00	4.41%	600
07:00 - 08:00	2.42%	330	19:00 - 20:00	4.04%	550
08:00 - 09:00	4.04%	550	20:00 - 21:00	4.04%	550
09:00 - 10:00	4.41%	600	21:00 - 22:00	4.04%	550
10:00 - 11:00	4.41%	600	22:00 - 23:00	4.04%	550
11:00 - 12:00	4.55%	620	23:00 - 00:00	4.19%	570

C.5 Perbandingan Akurasi *Forecasting* Konsumsi Listrik PKS Sei Galuh 2022

Metode	Tingkat Akurasi		
	MAPE	MAD	MSD
<i>Linear</i>	19	43007	3031895303
<i>Quadratic</i>	19	43732	3111924943
<i>Exponential Growth</i>	18	41892	3912897025
<i>Moving Average</i>	20	50404	3058837347



Grafik Konsumsi Listrik PKS Sei Galuh 2022



C.7 Hasil Prediksi Konsumsi Listrik Bulanan PKS Sei Galuh 2022

No	Bulan	Beban Listrik (kWh)
		Tahun 2022
1	Januari	324,047
2	Februari	327,939
3	Maret	331,878
4	April	335,864
5	Mei	339,898
6	Juni	343,980
7	Juli	348,111
8	Agustus	352,292
9	September	356,523
10	Oktober	360,805
11	November	365,139
12	Desember	369,524
Total		4,156,000 kWh
Rata-rata		346,333.3 kWh/bulan
		11,386.3 kWh/hari

1. Dianggap melindungi Undang-Undang
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dianggap mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Tabel Produksi Listrik Per Pembangkit Listrik PKS Sei Galuh 2019-2020

Bulan	Tahun 2019 (kWh)			Tahun 2020 (kWh)		
	Konsumsi Total (100%)	ST Total (90.75%)	Genset Total (9.25%)	Konsumsi Total (100%)	ST Total (90.45%)	Genset Total (9.55%)
Januari	179,015	157,400	21,615	251,460	231,000	20,460
Februari	155,565	138,900	16,665	239,245	220,600	18,645
Maret	195,600	175,800	19,800	249,580	227,800	21,780
April	190,255	169,300	20,955	243,120	222,000	21,120
Mei	282,955	255,400	27,555	185,795	158,900	26,895
Juni	247,000	223,900	23,100	291,330	267,900	23,430
Juli	366,195	342,600	23,595	225,705	196,500	29,205
Agustus	324,550	306,400	18,150	306,130	279,400	26,730
September	352,030	335,200	16,830	285,820	258,100	27,720
Oktober	226,045	200,800	25,245	246,735	220,500	26,235
November	196,985	172,400	24,585	297,850	269,800	28,050
Desember	143,930	117,200	26,730	288,420	261,720	26,700
Total	2,860,125 (100%)	2,595,300 (90.75%)	264,825 (9.25%)	3,111,190 (100%)	2,814,220 (90.45%)	296,970 (9.55%)

Tabel Prediksi Konsumsi Listrik Per Jam PKS Sei Galuh 2022

Pukul	% dari Total Beban Sehari	Beban Listrik (kW)	Pukul	% dari Total Beban Sehari	Beban Listrik (kW)
00:00 - 01:00	4.19%	556.35	12:00 - 13:00	4.41%	585.55
01:00 - 02:00	4.04%	536.43	13:00 - 14:00	4.55%	604.14
02:00 - 03:00	4.41%	585.55	14:00 - 15:00	4.19%	556.35
03:00 - 04:00	4.41%	585.55	15:00 - 16:00	4.55%	604.14
04:00 - 05:00	4.41%	585.55	16:00 - 17:00	4.41%	585.55
05:00 - 06:00	3.67%	487.3	17:00 - 18:00	4.41%	585.55
06:00 - 07:00	3.67%	487.3	18:00 - 19:00	4.41%	585.55
07:00 - 08:00	2.42%	321.32	19:00 - 20:00	4.04%	536.43
08:00 - 09:00	4.04%	536.43	20:00 - 21:00	4.04%	536.43
09:00 - 10:00	4.41%	585.55	21:00 - 22:00	4.04%	536.43
10:00 - 11:00	4.41%	585.55	22:00 - 23:00	4.04%	536.43
11:00 - 12:00	4.55%	604.14	23:00 - 00:00	4.19%	556.35

1. Diwajibkan mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LAMPIRAN D

Data *Flow Rate* POME PTPN V Sei Galuh

Tabel *Flow Rate* POME Bulanan PKS Sei Galuh 2019-2020

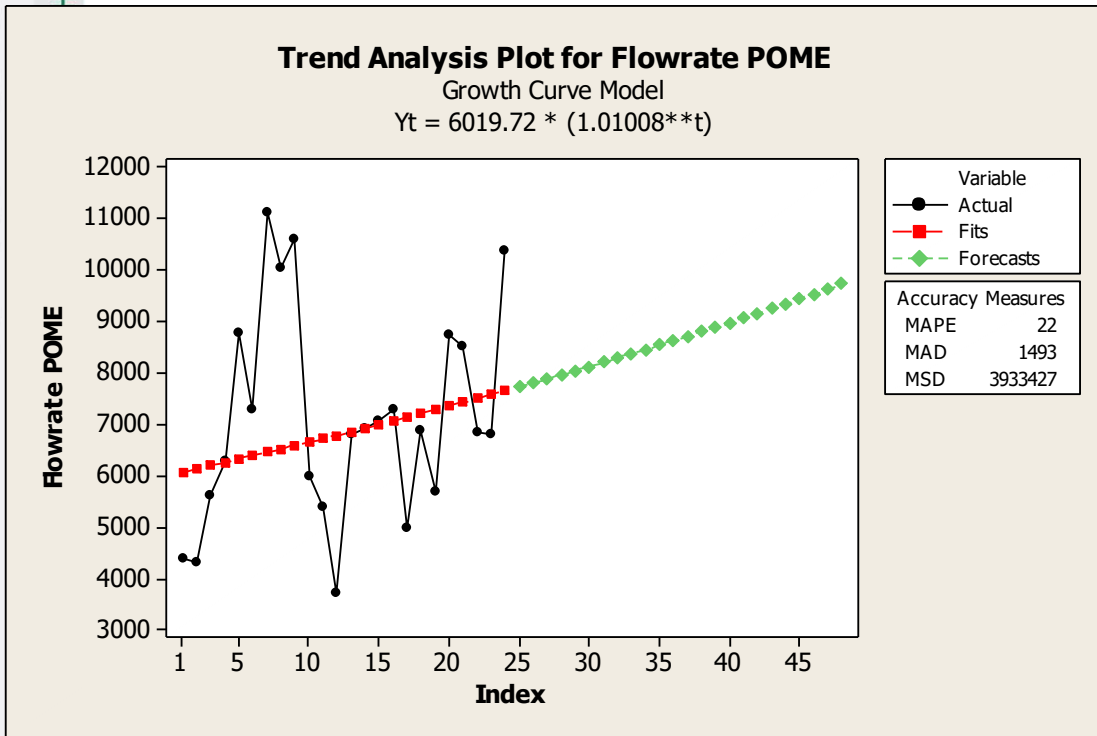
No	Bulan	<i>Flow Rate</i> POME (m ³ /bulan)	
		Tahun 2019	Tahun 2020
1	Januari	4,401	6,818
2	Februari	4,314	6,922
3	Maret	5,610	7,073
4	April	6,270	7,306
5	Mei	8,779	4,986
6	Juni	7,280	6,871
7	Juli	11,127	5,683
8	Agustus	10,053	8,762
9	September	10,600	8,515
10	Oktober	5,971	6,856
11	November	5,402	6,801
12	Desember	3,706	10,390
Rata-rata		6,959.4 m ³ /bulan	7,248.6 m ³ /bulan

D.2 Perbandingan Akurasi *Forecasting* Data POME PKS Sei Galuh 2022

Metode	Tingkat Akurasi		
	MAPE	MAD	MSD
<i>Linear</i>	24	1557	3854248
<i>Quadratic</i>	24	1562	3848125
<i>Exponential Growth</i>	22	1493	3933427
<i>Moving Average</i>	22	1567	4210508

D.3

Grafik *Flow Rate* POME PKS Sei Galuh 2022



D.4

Hasil Prediksi *Flow Rate* POME Bulanan PKS Sei Galuh 2022

No	Bulan	Flow Rate POME (m ³ /bulan)
		Tahun 2022
1	Januari	8,723.81
2	Februari	8,811.73
3	Maret	8,900.54
4	April	8,990.23
5	Mei	9,080.84
6	Juni	9,172.35
7	Juli	9,264.79
8	Agustus	9,358.16
9	September	9,452.47
10	Oktober	9,547.73
11	November	9,643.95
12	Desember	9,741.14
Total		110,687.74 m ³
Rata-rata		9,223.97 m ³ /bulan
		303.25 m ³ /hari



LAMPIRAN E

Data Hasil Uji COD POME PTPN V Sei Galuh

Tabel Hasil Uji COD POME 2019 Per Kuartil PKS Sei Galuh

Kuartil	Waktu Pengujian COD	Hasil Pengujian COD (mg/L)
I	01-01-2019	49,620
II	01-04-2019	36,936
III	01-07-2019	52,326
IV	01-11-2019	36,576
Rata-rata		43,864.5 mg/L

- Hak Cipta Dilindungi
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LAMPIRAN F

Data Biaya *Maintenance* PLTD & PLTU Biomassa PTPN V Sei Galuh

F.1 Biaya Komponen PLTD PKS Sei Galuh

No	Komponen	Frekuensi Perawatan Berkala	Jumlah	Harga (Rupiah)	Total Biaya (Rupiah)
1	<i>Oil Filter</i> LF670	250 jam	2	200,000	400,000
2	<i>Oil Filter</i> LF777	250 jam	1	300,000	300,000
3	<i>Oil Filter</i> FD1050	250 jam	2	100,000	200,000
4	Elemen <i>Filter</i> LF2070SM	250 jam	1	350,000	350,000
5	<i>Coolant Filter</i> WF206	250 jam	1	300,000	300,000
6	Oli Meditran SAE 40	250 jam	46	35,000	1,610,000
7	<i>Air Cleaner</i>	750 jam	1	2,000,000	2,000,000

F.2 `Biaya Perawatan PLTD PKS Sei Galuh

No	Jenis Perawatan	Frekuensi Perawatan Berkala	Biaya (Rupiah)
1	<i>Top Overhaul</i>	5,000 jam	150,000,000
2	<i>General Overhaul</i>	10,000 jam	400,000,000

F.3 Biaya Perawatan PLTU Biomassa PKS Sei Galuh

No	Jenis Perawatan	Frekuensi Perawatan Berkala	Biaya (Rupiah)
1	<i>Top Overhaul</i>	5,000 jam	250,000,000
2	<i>General Overhaul</i>	10,000 jam	500,000,000

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LAMPIRAN G

Perhitungan *Present Worth Factor* (PWF)

Present Worth Factor (PWF) Pada *Cash Out Flow*

$$PWF = \left(\frac{1 + a}{1 + i} \right)^n$$

$$PWF \text{ Tahun } 0 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^0 = 1$$

$$PWF \text{ Tahun } 1 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^1 = 0.98543$$

$$PWF \text{ Tahun } 2 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^2 = 0.97108$$

$$PWF \text{ Tahun } 3 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^3 = 0.95693$$

$$PWF \text{ Tahun } 4 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^4 = 0.94299$$

$$PWF \text{ Tahun } 5 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^5 = 0.92925$$

$$PWF \text{ Tahun } 6 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^6 = 0.91571$$

$$PWF \text{ Tahun } 7 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^7 = 0.90237$$

$$PWF \text{ Tahun } 8 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^8 = 0.88922$$

$$PWF \text{ Tahun } 9 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^9 = 0.87627$$

$$PWF \text{ Tahun } 10 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{10} = 0.8635$$

$$PWF \text{ Tahun } 11 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{11} = 0.85092$$

$$PWF \text{ Tahun } 12 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{12} = 0.83852$$

$$PWF \text{ Tahun } 13 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{13} = 0.8263$$

$$PWF \text{ Tahun } 14 = \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{14} = 0.81426$$

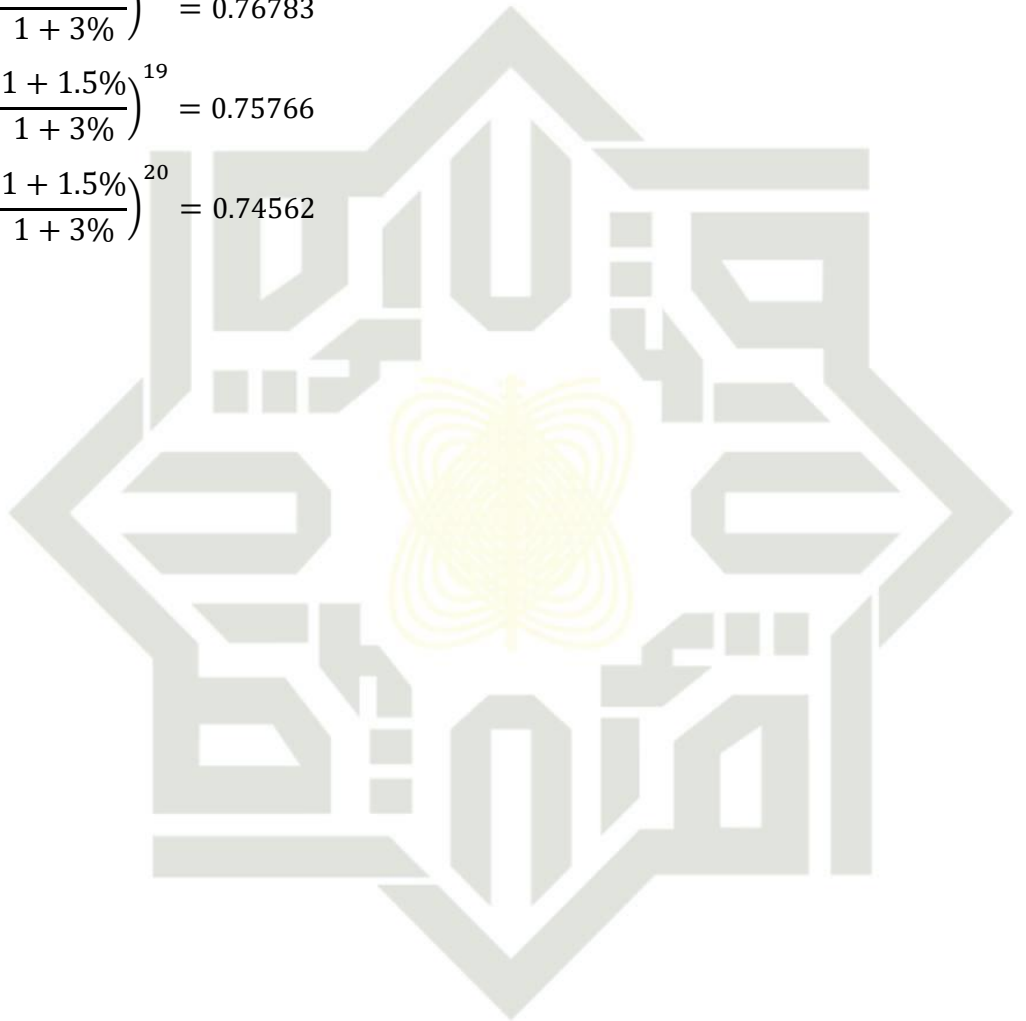
1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

$$\begin{aligned} \text{PWF Tahun 15} &= \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{15} = 0.8024 \\ \text{PWF Tahun 16} &= \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{16} = 0.79701 \\ \text{PWF Tahun 17} &= \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{17} = 0.77919 \\ \text{PWF Tahun 18} &= \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{18} = 0.76783 \\ \text{PWF Tahun 19} &= \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{19} = 0.75766 \\ \text{PWF Tahun 20} &= \left(\frac{1 + 1.5\%}{1 + 3\%} \right)^{20} = 0.74562 \end{aligned}$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN H

Dokumentasi Lokasi Penelitian





RIWAYAT HIDUP PENULIS

ALVIN NAVIES, lahir di Duri pada 30 Agustus 1999. Anak ke-4 dari 4 bersaudara, dari pasangan ayahanda H.Yurisyaf dan ibunda Hj.Megawati (almh). Pendidikan formal yang ditempuh oleh penulis diawali pada tahun 2003 di TK Al-Hidayah, selesai pada tahun 2005. Lalu penulis melanjutkan pendidikan di SDS Cendana Mandau, lulus pada tahun 2011. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMPS Cendana Mandau, lulus pada tahun 2014. Setelah itu, penulis melanjutkan ke SMAS Cendana Mandau dengan Jurusan IPA, lulus pada tahun 2017. Kemudian pada tahun 2017 melanjutkan studi ke Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Penulis melaksanakan penelitian pada bulan Desember 2020 di Pabrik Kelapa Sawit Sei Galuh, PT Perkebunan Nusantara V dengan judul “Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Biomass-Biogas”. Penulis lulus bergelar Sarjana Teknik (S.T) dengan predikat kelulusan Sangat Memuaskan pada tahun 2021.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.